ZUM RÖNTGENKONTRAST BEI KUNSTSTOFF-FÜLLMATERIALIEN MIT BESONDERER ERPROBUNG AN "PALAKAV"

Ursula Böhner

1973

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546017_0047

AUS DER ABTEILUNG FÜR ZAHNERHALTUNG UND PARODONTOLOGIE
(Vorstand: Professor Dr. Eberhard Sonnabend)
DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

ZUM RÖNTGENKONTRAST BEI KUNSTSTOFF-FÜLLMATERIALIEN MIT BESONDERER ERPROBUNG AN "PALAKAV"

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Ursula Böhner

aus
München

München 1973

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. E. Sonnabend
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. E. Kraft
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. November 1973

UNIV. LEIDEN BIBL.

INHALT

1. Einführung in die Problem- und Aufgabenstellung 1

2. Zusammenstellung der Literatur 4

3. Methodik der eigenen Untersuchungen 6

3.1 Einführung in den Wirkungsmechanismus von röntgenkontrastgebenden Substanzen 6

3.2 Übersicht über die in den Untersuchungen verwandten Materialien 9

3.2.1 Beschreibung des verwandten Kunststoffes 9

3.2.2 Schwermetallsalze als Röntgenkontrast-Zusätze 9

3.2.3 Radiopake Glasfüllstoffe als Röntgenkontrast-Zusätze 10

3.2.4 Vergleichsmaterialien 10

3.3 Untersuchungsmethode und Versuchsanordnungen 12

3.3.1 Objektiver Röntgenkontrastvergleich der Füllmaterialien durch densitometrische Messung 12

3.3.2 Füllungen auf extrahierten Zähnen 17

3.3.3 Füllungen mit radiopakem Kunststoffmaterial bei Patienten 19

3.4 Beeinflussung des Kunststoffes durch Kontrastmittelzusätze 20

3.4.1 Beeinflussung der Verarbeitbarkeit 20

3.4.2 Beeinflussung der Ästhetik und Kosmetik 20

4. Ergebnisse der eigenen Untersuchungen 21

4.1 Radiopazität der Test- und Vergleichssubstanzen 21

4.1.1 Densitometrische Untersuchungen 21

4.1.2 Vergleich von Füllungen in extrahierten Zähnen 23

4.1.3 Radiopake PALAKAV-Füllungen bei Patienten 27

4.2 Beeinflussung des Kunststoffmaterials durch Kontrastmittelzusätze 30

4.2.1 Beeinflussung der Verarbeitbarkeit 30

4.2.2 Beeinflussung der Ästhetik und Kosmetik 30

5. Kritische Auswertung der eigenen Ergebnisse 32

6. Zusammenfassung 35

Literaturverzeichnis 38

1. EINFÜHRUNG IN DIE PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Seit die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Zahnheilkunde eine Selbstverständlichkeit geworden ist, wird die Forderung erhoben, daß Fremdstoffe, welche in die Mundhöhle eingebracht werden, auf dem Röntgenbild darstellbar sein sollten. Vordringlich ist dieser Wunsch nach "Röntgensichtbarkeit" insbesondere bei allen kleinen "Fremdkörpern",wie z.B. kleinen partiellen Prothesen, Kronen, Brücken, Inlays, auch Wurzelkanalinstrumenten, damit diese im unglücklichen Fall des Verschluckens oder gar Aspirierens röntgenologisch lokalisierbar sind.

Ein gleichfalls wichtiger Grund für die röntgenologische Darstellbarkeit solcher Fremdstoffe betrifft die Füllungsmaterialien: Ein durch eine Füllung "restaurierter" Zahn soll einer Röntgenkontrolle unterziehbar sein, denn die Überprüfung der Füllungsqualität und des Zahnes unter der Füllung sind für den Zahnarzt bedeutsam.

Für die Untersuchung des Zahnes und seiner Füllung an den okklusalen, vestibulären und oralen Flächen sind das Auge und die Sonde zuständig, zur Kontrolle vom Interdentalraum her aber ist das Röntgenbild, speziell in der Bißflügel-Technik, das überlegene diagnostische Hilfsmittel (SONNABEND, 24).

Bei allen aus Metall bestehenden, in die Mundhöhle eingegliederten "Fremdkörpern", wie Goldguß- und Amalgamfüllungen, sowie partiellen Prothesen, Brücken und Kronen,gibt es kein Problem der Darstellung auf dem Röntgenbild. Metalle absorbieren Röntgenstrahlen in hohem Maße und bilden sich auf dem Filmnegativ als scharf kontrastierende, "weiße" Körper ab, die in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Kunststoffe

und die Silikatzemente jedoch lassen Röntgenstrahlen nahezu ungehindert hindurchtreten. So bleiben auf dem Röntgenfilm alle prothetischen Werkstücke aus Kunststoff einfach unsichtbar, desgleichen Silikatzementfüllungen und die seit einigen Jahren an Bedeutung gewinnenden Kunststoffüllungen (Composite Material). Um als Füllungsmaterial in den täglichen Gebrauch der zahnärztlichen Praxis eingehen zu können, sollten die Füllungs-Kunststoffe auch dem wichtigen Kriterium des Röntgenkontrasts folgen, insbesondere als einige Materialien auf Grund ihrer verbesserten Eigenschaften (Härte, Abriebfestigkeit) eventuell auch für die Kavitäten Black-Klasse I und II, außer den Klassen III, IV und V, in Betracht kommen.

Ohne Röntgenkontrast ist ein mit Composite-Material gefüllter Zahn der oben erwähnten röntgenologischen Interdentalraumkontrolle unzugänglich. Das bringt folgende Gefahren (W.MEYER, 16):

1) Eine Sekundärkaries unter der Kunststoffüllung ist nicht diagnostizierbar.

2) Unerkannt bleiben mögliche Unzulänglichkeiten der Füllungsgestaltung, die ernste Folgen nach sich ziehen können:

   - eine unvollständige Abfüllung des approximalen Kastens (Leitbahn für eine neue Karies)
   - ein überstehender Füllungsrand (durch Retention von Speiseresten ebenfalls Anlaß für eine Sekundärkaries, schädigende Reizung des marginalen Parodontiums).
   - in der Zahnfleischfurche belassene Reste von abgeflossenem oder abgebröckeltem Füllungsmaterial (ebenfalls parodontale Schädigung).

Sich mit diesen Risiken abzufinden, hieße bewußt eine unzulängliche Kariestherapie betreiben, daher halten wir die

Forderung nach Röntgenkontrast von Kunststoffüllmaterial für unerläßlich.

Nachdem in unserer Klinik eines der neueren Composite-Materialien (PALAKAV, Fa. Kulzer) bereits klinischen Untersuchungen unterzogen wurde (MÜLLER, 17), haben wir uns die Aufgabe gestellt, dieses Füllmaterial mit Röntgenkontrast zu versehen, die Wirkung verschiedener Kontrastmittel zu überprüfen,und die Testpräparate mit möglichst vielen anderen Füllungswerkstoffen in der Radiopazität zu vergleichen. Außerdem interessierte uns, ob durch die Kontrastmittelzugabe die Verarbeitbarkeit des Materials beeinflußt und eine der Hauptqualitäten der Kunststoffüllung, nämlich die Ästhetik und Kosmetik, beeinträchtigt würde.

2. ZUSAMMENSTELLUNG DER LITERATUR

In einigen Lehrbüchern der Zahnheilkunde wird auf den Mangel von Röntgenkontrast bei der Kunststoffüllung samt der dazugehörigen Problematik seit langem hingewiesen (1955 E.HARNDT, 12; 1959 WANNENMACHER, 25). Beide Autoren führten auch anschauliche Vergleiche der Radiopazität verschiedener zahnärztlicher Werkstoffe durch, wobei sich Kunststoff ebenso radioluzent wie Silikatzement zeigt. Die gleiche Frage wird von SONNABEND (24) in einem Fachbuch für zahnärztliche Röntgenologie anhand von Röntgenbild-Beispielen besprochen. Das Fehlen eines Röntgenschattens bei Kunststoffüllungen wird dort bereits bemängelt. Auch WUEHRMAN (28) macht 1960 in seinen "Roentgeno-Oddities" darauf aufmerksam, daß man im Röntgenbild bei einer "leeren Stelle" im Zahn die Auswahl zwischen herausgefallener Füllung oder einer Kunststoff- bzw. Silikat-Füllung habe. Eine eingehende und objektivierte Studie über den Röntgenkontrast von zahnärztlichen Füllmaterialien gaben uns 1961 DEGERING und BUSEMAN (10), wobei sie die Substanzen durch densitometrische Messung bestimmten Gruppen je nach Kontraststärke zuordneten. Die ersten Anstrengungen, den Methylmethacrylaten Röntgenkontrast zu verleihen, wurden im "Lager" der Prothetik unternommen, denn ihre verschluck- und aspirierbaren Werkstücke radiopak zu machen, war - wie bereits erwähnt - eine dringliche Notwendigkeit. ATKINSON (2) versuchte 1954, in Prothesenbasismaterialien Schwermetallsalze oder Metallfolien einzuarbeiten; dies schien ihm jedoch nicht die Ideallösung. 1960 erprobten BURSEY und WEBB (8) Methacrylat in Kombination mit 14 röntgenkontrastgebenden Substanzen und befanden einen Zusatz von 28,5 % Bariumfluorid als zufriedenstellende Methode, worauf später noch eingegangen werden muß.

ALVARES (1) ging 1966 einen ähnlichen Weg und empfahl Methacrylat mit 15 % Barium-Sulfat als günstige Kombination.

Daß derartige Kombinationen von Metallsalzen mit Methacrylaten aus der Prothetik nicht einfach für die Kunststoffe der Zahnerhaltung übernommen werden können, wird noch zu besprechen sein. Die ersten Nachrichten über eine gangbare und elegante Methode zur Kontrastgebung der Füllungskunststoffe kamen im Zeitraum 1969 - 1971 von BOWEN und CLEEK (National Bureau of Standards, Washington). Da man BOWEN mit Recht als einen der Väter der heutigen Kunststoff-Füllung bezeichnen darf, ist es nicht verwunderlich, daß gerade er sich um eine Lösung bemühte, die dem speziellen chemisch-physikalischen Aufbau gerecht wird: BOWEN und CLEEK (5, 6) ließen den Kunststoff selbst unberührt; sie versahen dafür den meist glasartigen Verstärker-Füllstoff, der zu ca. 50 % im Composite-Material enthalten ist, mit Röntgen-Kontrast. Da wir die Gelegenheit hatten, mit diesem Material zu arbeiten, wird in den nächsten Kapiteln ausführlich darüber berichtet werden. Während der Zeit unserer Bemühungen um diese Aufgabe wurde bereits über erste klinische Erfahrungen mit der ersten von BOWEN und CLEEK entwickelten Substanz berichtet (CHANDLER, BOWEN, PAFFENBARGER und MULLINEAUX 1970; 9), was uns eine gute Vergleichsmöglichkeit bietet.

3. METHODIK DER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN

3.1 Einführung in den Wirkungsmechanismus von röntgenkontrastgebenden Substanzen

Der Entstehung eines Röntgenbildes liegt die Fähigkeit der Röntgenstrahlen zugrunde, eine photographische Schicht zu schwärzen. Jeder Körper, der im Strahlengang liegt, wird nach seinem spezifischen Absorptionsvermögen die Röntgenstrahlen schwächen, so daß die hindurchgetretenen Strahlen entsprechend diesen Schwächungen die photographische Schicht unterschiedlich schwärzen. Zwar erfolgt (nach van der PLAATS, 19) beim Durchgang durch Materie eine Schwächung der Röntgenstrahlen nicht nur durch Absorption, sondern auch durch Streuung, die sich bei den Aufnahmen störend als Kontrastminderung durch Verschleierung auswirkt. Sie kann durch Hilfsmittel (kleine Blenden z.B.) eingeschränkt werden. Weiter soll darauf im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

Das Absorptionsvermögen einer Substanz ist (nach BARKE, 3) von zwei Faktoren abhängig: von ihrem spezifischen Absorptionskoeffizienten und von ihrer Schichtdicke. Bei sehr dicken Objekten mag der letztgenannte Punkt eine Rolle spielen, denn pro Schichteinheit wird die Strahlung um jeweils den gleichen Bruchteil geschwächt (logarithmische Beziehung). Bei Zahnfüllungen, die ungefähr eine Schichtdicke von 0.2 - 0.6 cm besitzen, ist dieser Faktor nicht bedeutsam.

Der Absorptionskoeffizient selbst wird von mehreren Faktoren beeinflußt (nach BARKE, 3):

a) von der Dichte (ρ) der Substanz.
Je mehr absorbierende Atome in der Volumeneinheit vorhanden sind, desto stärker ist die Strahlenschwächung (z.B. bei den verschiedenen Zementen mit ihrem jeweils unterschiedlichen Gehalt an stark absorbierenden Elementen)

b) von der Wellenlänge (λ) der Strahlung, die zwar mit der 3. Potenz in die Beziehung eingeht, (Formel modifiziert nach BARKE, 3, und SHAPIRO, 22)

$$\tau \sim \rho \cdot \lambda^3 \cdot K \cdot Z^4 + K_s$$

τ = Absorpt. Koeffizient
ρ = Dichte
K = Konstante
K_s = Streuungskoeffizient
Z = Ordnungszahl des Elements
λ = Wellenlänge

aber bei den für zahnärztliche Zwecke gebräuchlichen Spannungswerten um 60 kV als konstant betrachtet werden kann.

c) von der 4. (!!) Potenz der Ordnungszahl (Z) des Elements im Periodensystem. Dies ist der bedeutsamste Faktor für die Strahlungsschwächung und damit für den Röntgenkontrast des Stoffes. Für eine Verbindung gilt die mittlere Ordnungszahl, die sich durch die Anteile der beteiligten Elemente berechnen läßt (BARKE, 3).
Jedes Objekt, für uns die Körpergewebe, bildet sich also auf dem Röntgenfilm durch einen natürlichen Kontrast ab, für dessen Intensität hauptsächlich die Ordnungszahlen seiner Bestandteile verantwortlich sind.

Ist die Kontraststärke eines Gewebes oder Organes so schwach, daß es sich der ärztlichen Beurteilung durch

das Röntgenbild entzieht, kann dem durch ein künstliches Kontrastmittel abgeholfen werden (zum 1. Mal durch RIEDER 1904; aus 7). Ein solches künstliches Kontrastmittel muß mit seiner Ordnungszahl erheblich unter oder über den Werten der körpereigenen Gewebe liegen; in der Zahnheilkunde wird nur von der 2. Möglichkeit Gebrauch gemacht (positives Kontrastmittel).

Die Weichteile des menschlichen Körpers setzen sich aus organischen Elementen von Wasserstoff bis Sauerstoff im Periodensystem zusammen. Durch die niedrigen Ordnungszahlenwerte (von H = 1 bis O = 8, Mittelwert 7.42 nach BRABAND, 7) geben sie nur einen schwachen "Schatten" auf dem Röntgenbild. Einen starken Kontrast dagegen gibt das Skeletsystem, da es sich vorwiegend aus anorganischen Elementen mit höheren Ordnungszahlen aufbaut (Phosphor = 15 und Kalzium = 20, Mittelwert 8.7 - 11.6 nach BRABAND, 7) und außerdem größere Dichte und spezifisches Gewicht im Vergleich zu den wasserreichen Weichteilen besitzt. Daher muß als Kontrastmittel ein Stoff mit einer Ordnungszahl verwandt werden, die möglichst weit über den oben genannten Ordnungszahlen für Körpergewebe liegt (» 7.42 - 11.6).

Aus der Tabelle 1 (S. 8a) wird ersichtlich, welche Elemente sich dazu eignen. Als Beispiele seien das Zirkon, Jod, Barium, Blei und Wismut aufgeführt.
Um ein Kontrastmittel im menschlichen Organismus anwenden zu können, muß es ungiftig und reizlos sein. Diese Forderung erfüllen einige chemisch sehr stabile Salze der genannten Elemente, besonders der Schwermetalle (BARKE, 3; HAUSCHILD, 13). Dennoch muß bei der Auswahl des Kontrastmaterials dem toxikologischen Problem große Beachtung geschenkt werden.

Element	Symbol	Ordnungszahl	Bestandteil von:
Wasserstoff	H	1	Weichteile des Körpers, Kunststoffmaterial (H,C,O)
Kohlenstoff	C	6	
Stickstoff	N	7	
Sauerstoff	O	8	
Weichteile des Körpers		7.42 mittl.Zahl	
Luft		7.64	
Hartgewebe des Körpers (Skelet)		8.7-11.6 mittl.Zahl	
Fluor	F	9	
Aluminium	Al	13	Porzellan, Silikatzement
Silicium	Si	14	
Phosphor	P	15	Skelet, Zähne
Schwefel	S	16	
Kalium	K	19	
Calcium	Ca	20	
Titan	Ti	22	
Eisen	Fe	26	
Kupfer	Cu	29	
Zink	Zn	30	Fletcher-Massen, Phosphatzement
Zirkon	Zr	40	
Silber	Ag	47	Silberamalgam
Zinn	Sn	50	
Jod	J	53	
Barium	Ba	56	Gußfüllung
Gold	Au	79	
Quecksilber	Hg	80	
Blei	Pb	82	
Wismut	Bi	83	

Tabelle 1. Ordnungszahlen der Elemente, die in Körpergeweben, Füllungsmaterialien und Kontrastmitteln enthalten sind. (Bestandteile der zahnärztlichen Werkstoffe nach SAUERWEIN, 21)

3.2 Übersicht über die in den Untersuchungen verwandten Materialien

3.2.1 Beschreibung des verwandten Kunststoffes

Für die Untersuchungen wurde ein Kunststoffüllstoff gewählt, der seit einigen Jahren in verschiedenen deutschen Kliniken, so auch unserer, klinisch erprobt wird. Es handelt sich um "PALAKAV",einem Methylmethacrylat, bestehend aus 3 Komponenten: gemahlenem Polymerisat mit 80 Gewichtsprozenten Verstärkungsfüllstoff (Glasperlen mit Korngröße $\leq$ 50 µ), Monomer-Flüssigkeit und Katalysatorpaste.
Die Verarbeitungsvorschrift verlangt einminütiges Verrühren von 2 - 3 mm Katalysatorpaste in 10 Tropfen Monomerflüssigkeit, dann wird ein Meßlöffel Pulver eingerührt. Die Verarbeitungszeit beträgt ca. 1 - 2 Minuten; bearbeitungsfähig ist das Material nach ca. 8 - 10 Minuten.

3.2.2 Schwermetallsalze als Röntgenkontrast-Zusätze

Für die Kontrastzusätze haben wir uns einiger Verbindungen von Barium, Zirkonium, Wismut und Blei bedient. Sie wurden auf zwei grundverschiedene Arten dem genannten Kunststoff P zugesetzt. Als einfaches physikalisches Gemenge wurden dem Kunststoff-Pulver folgende Verbindungen in Pulverform beigefügt:

Bariumfluorid	(BaF_2)	in ansteigenden Konzentrationen: 5,10,15, ... 50 % (Gewichtsprozente)
Wismut-oxi-chlorid	(Bi-O-Cl):	15 %, 50 %
Zirkon-oxid	(ZrO):	50 %

Die PALAKAV-BaF_2-Kombinationen wurden von uns durch Vermischen der Pulver hergestellt, die Wismut- und Zirkonsalzmischungen wurden von der Firma Kulzer & Co. geliefert.

3.2.3 Radiopake Glasfüllstoffe als Röntgenkontrast-Zusätze

Eine chemische Verbindung brachte der Zusatz von geeigneten Verbindungen zur Glasschmelze der Verstärkungsfüller: Nur das Füllmaterial, das den Kunststoff durchsetzt, besitzt den Röntgenkontrast. Vier solcher Gläser standen uns zur Verfügung:

ein Bleiglas

ein Barium-Titanium-Glas "Cataflex 202"-Glas, Fa.Cataphote Corp. (BOWEN u.ARGENTAR, 4)

} Zusammensetzung war nicht zu ermitteln; Korngröße: ≤ 50 µ;

zwei Gläser, die BOWEN und CLEEK entwickelten:

Zusammensetzung:

BOWEN I: $\underline{BaF_2\ 28}$; SiO_2 44; B_2O_3 16; Al_2O_3 12 mol %

BOWEN II: $\underline{BaO\ 17}$; SiO_2 66; B_2O_3 11; Al_2O_3 6;

Korngröße: ≤ 20 µ.

Diese Kombination von radiopakem Glas und Kunststoff P bekamen wir industriell angefertigt, denn die Glasperlen müssen an ihren Oberflächen silanisiert werden, um eine chemische Bindung zur Kunststoffmatrix eingehen zu können.

3.2.4 Vergleichsmaterialien

Unsere Testsubstanz PALAKAV mit den verschiedenen Kontrastmittelzusätzen sollte in der Röntgenkontraststärke verglichen werden

a) mit den Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin

b) mit folgenden zahnärztlichen Werkstoffen:

- herkömmliche, definitive Füllungsmaterialien:

  Silikat-Zement
  Porzellan
  Silberamalgam

- temporäre Verschlußmaterialien:

  Zinkoxyphosphat-Zement
  Carboxylat-Zement (DURELON)
  Zinkoxid-Präparate
  . RIGODENTIN (Fletcher-Masse)
  . ZnO - Nelkenöl
  . CAVIT (Kunststoffbasis)
  Guttapercha

- Kunststoffüllmaterialien:

  ADAPTIC
  CAMAELEON
  CONCISE
  DFR
  ESPE Versuchs-Nr. III/112
  BLENDANT
  POLYCAP
  SEVRITON
  TD 71

- Calcium-Hydroxyd-Präparat:
  DYCAL

- Wurzelfüllmaterial:
  DIAKET

- Autopolymerisat für prothetische Provisorien:
  RAYPAQUE

3.3 Untersuchungsmethode und Versuchsanordnungen

3.3.1 Objektiver Röntgenkontrastvergleich der Füllmaterialien durch densitometrische Messung

Obwohl dem Zahnarzt bei der Auswertung eines Zahnröntgenbildes nur ein subjektiver Kontrastvergleich mit Hilfe seiner Augen möglich ist, haben wir eine objektive Vergleichsmessung unserer Testsubstanzen und möglichst vieler zahnärztlicher Füllungswerkstoffe angestrebt. Eine solche objektive Röntgenkontrastmessung kann zur Entwicklung eines Maßstabes dienen, nach dem sämtliche in der Zahnheilkunde verwandten Materialien eingeordnet werden und eine entsprechende Maßzahl erhalten könnten. Diese Maßzahl müßte von den Herstellerfirmen zur Information des Zahnarztes bei jedem Präparat genannt werden, das temporär oder definitiv in die Mundhöhle eingebracht wird, - ein wichtiges Anliegen, das bereits von FLECKEN (11) 1951 für Wurzelfüllmaterialien formuliert wurde.

Ein objektiver Kontrastvergleich kann durch densitometrische Messung der verschiedenen Materialien auf dem Röntgenfilm vorgenommen werden (FLECKEN, 11; WUEHRMAN und CURBY, 29). Hierfür müssen die Schichtdicken der Substanzen und die röntgenologischen Bedingungen (Röntgenfilm, Abstand Fokus - Objekt - Film, Belichtungszeit, Entwickeln, Fixieren usw.) stets möglichst gleich gehalten werden (KORT, 14). Da letzteres aber nicht exakt durchführbar ist, dient als direkter Vergleichsmaßstab eine Kontrasttreppe aus Aluminiumblech (WUEHRMANN und MONACELLI, 30; WING e.a., 27; FLECKEN, 11), die gemeinsam mit jeder Gruppe von Testsubstanzen geröntgt wird. Da sich auf der Röntgenaufnahme die Kontrasttreppe neben den Testsubstanzen darstellt, kann

mittels Vergleich der Densitometerwerte für jede Substanz die ihr in Lichtdurchlässigkeit und damit in Radioluzenz entsprechende Aluminiumstufe gefunden werden. Der Radiopazitätsgrad der Materialien wird in Anlehnung an FLECKEN (11) mit der ermittelten Al-Stufen-Dicke in mm als Kontrastzahl "K" angegeben.

Normierung der Teststubstanzen

In rechteckige Plexiglasplatten (50 x 40 mm, 5 mm hoch) wurden je 6 runde, 3 mm tiefe und im Ø 10 mm messende Vertiefungen gebohrt. In diese wurden die Testsubstanzen durch gebräuchliche Füllinstrumente mit leichtem Überschuß eingebracht und ein Deckglas bis auf einen schmalen, seitlichen Spalt auf das noch weiche Material gedrückt. Der aus dem Spalt hervorquellende Überschuß wurde nach dem Erhärten durch Abschleifen entfernt, um so die gewünschte konstante Schichtdicke des Materials von 3 mm zu gewährleisten (siehe Abb. 1).

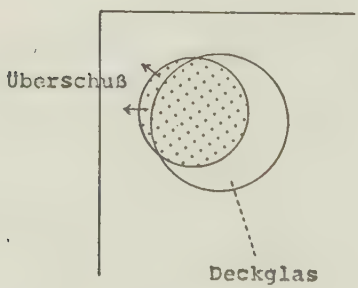


Abb. 1 Vertiefung einer Prüfplatte mit Testsubstanz gefüllt, Beseitigung des Überschusses durch Aufdrücken eines Deckglases

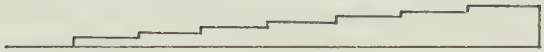


Abb. 2 Darstellung einer Aluminium-Eichtreppe mit Stufen zu je 0,5 mm (hier sind die Stufen 0-7 zu sehen).

Herstellung der Röntgenkontrastskala

Die Kontrastskala wurde aus Rein-Aluminium-Blech hergestellt. Für eine möglichst genaue Vergleichsmessung von niedrigen bis mäßig hohen Röntgenkontraststärken wurde eine Stufenhöhe (Steigung der Treppe) von 0,5 mm gewählt (nach einer Empfehlung von FLECKEN, 11), (Abb. 2). Da sich bei Vorversuchen mit 30 Stufen (0 - 15 mm Al) zeigte, daß sich ab einer Al-Dicke 7,5 mm die wachsenden Strahlenschwächungen der einzelnen Stufen nicht mehr scharf unterscheiden lassen und somit nur Meßfehler entstehen würden, wurde die Skala bewußt auf 15 Stufen beschränkt. Allerdings wurde ein sehr radiopakes Feld als Anhaltspunkt für einige Materialien benötigt und so wurde noch ein einzelner Extremwert von 10 mm Al = 20 Stufen hinzugefügt. Da die Aluminiumtreppen seitlich auf den Plexiglasplatten Platz finden sollten, bekamen sie eine Breite von 5 mm. Die Stufenanzahl von 0 - 15 wurde auf 2 Treppen mit je 8 Stufen zu 5 mm Länge verteilt. Für die Unterbringung der Al-Skalen wurde eine 3 mm tiefe Plexiglas-Schicht in den entsprechenden Ausmaßen abgetragen, sowohl beiderseits am Rand für die Treppen, als auch für den Extrem-Aluminium-Wert in der Mitte der Platte. Damit lagen die Skalenteile auf der gleich dicken Plexiglasschicht wie die Testsubstanzen (siehe Abb. 3a + 3b):

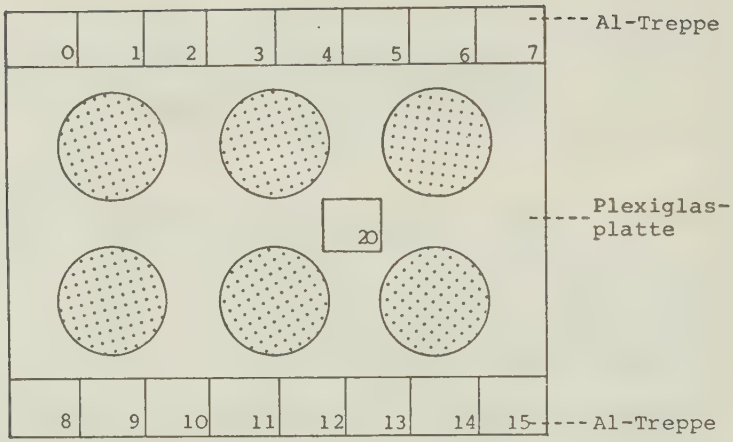


Abb. 3a Prüfplatte mit Testsubstanzen und seitlichen Aluminium-Eichtreppen (Stufen 0 - 15 und Extremwert 20)

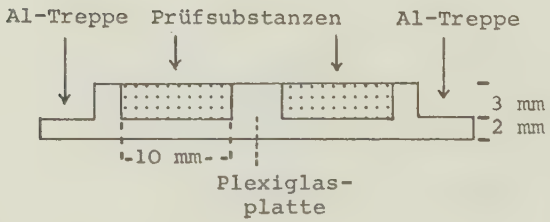


Abb. 3b Prüfplatte mit Testsubstanzen (Dicke 3 mm, Ø 10 mm) und seitlicher Vertiefung für die Unterbringung der Aluminiumtreppen (sagittal geschnitten)

Die Röntgenstrahlenabsorption durch die Plexiglasunterlage addiert sich stets in gleichem Maße zu Aluminiumtreppen wie Testmaterialien; sie braucht daher bei Vergleichsmessungen nicht berücksichtigt zu werden.

Röntgenbedingungen:

Film:	Super Dozahn (Du Pont) 4 x 5 cm
Apparat:	Siemens-Röntgenkugel, 60 kV, 10 mA mit zwischengeschaltetem Spannungsausgleicher (für konstante Netzspannung)
Belichtungszeit:	1,0 sec
Abstand:	Langtubus (27 cm) in Höhe der 10 mm Aluminium-Säule, auf der Plattenmitte. Plexiglasplatte (4 x 5 cm) liegt genau auf dem Film
Entwickeln: } Fixieren: }	Pantomat (Siemens) Alle Aufnahmen wurden hintereinander gemacht und automatisch entwickelt, fixiert, gewässert, getrocknet bei gleichen Zeiten und Temperaturen.

Densitometrische Messungen

Die Röntgenkontraststärken der Testsubstanzen wurden mittels der Lichtdurchlässigkeit der Röntgennegative im BALDWIN Radiological Densitometer Mk.3 gemessen. Bei den Testsubstanzen wurden Werte an 3 verschiedenen Stellen des Röntgenbildfeldes abgelesen, verglichen und gemittelt, falls sich durch eine Inhomogenität des Materials unterschiedliche Messungen ergeben sollten. Für die Stufen der Aluminiumtreppen aller Röntgenbilder wurden ebenfalls die Lichtdurchlässigkeiten im Densitometer gemessen. Da die Treppenstufen verhältnismäßig klein sein mußten, um zu Prüfplatte und

4 x 5 cm-Film zu passen, konnte pro Stufe nur eine Messung gemacht werden. Dann wurden die Meßwerte von den 6 Substanzen einer Prüfplatte mit den Werten der dazugehörigen Al-Skala verglichen und der entsprechenden Al-Stufe zugeordnet. Die jeweilige Al-Dicke in mm galt dann als Maßzahl "K" für die Röntgenkontraststärke der Substanz, bezogen auf 3 mm Schichtdicke.

3.3.2 Füllungen auf extrahierten Zähnen

Eine subjektive Darstellung der Röntgenstrahlendurchlässigkeit unserer Versuchs- und Vergleichssubstanzen, so wie sie sich dem Zahnarzt bei der Auswertung (Betrachtung) einer Röntgenaufnahme bietet, soll mit Füllungen der Black-Klassen I mit IV gegeben werden. Um alle Materialien verwenden zu können, wurden zunächst Füllungen in extrahierten Zähnen gelegt.

Testkörper: 4 - 5 extrahierte und gesäuberte Zähne wurden in einem Gipsblock (ca. 45 x 15 x 15 mm) aufgestellt (Abb. 4a), dann wurden verschiedene Kavitäten präpariert, mit Füllungen versehen und anschließend einer Röntgenaufnahme unterzogen. Die Zähne waren zum größten Teil ungefüllt und kaum kariös gewesen (operativ entfernte Weisheitszähne, aus kieferorthopädischen Gründen oder wegen starker Lockerung extrahierte Zähne), einige Ausnahmen jedoch sollten ihre abenteuerliche Füllungsgestaltung auf dem Röntgenbilde demonstrieren.

Röntgen-Bedingungen: Auch hier sollten die Bedingungen möglichst gleichartig sein, damit eine vergleichende Betrachtung ermöglicht wird. Der Abstand Zahnmitte - Film wurde durch entsprechendes Beschleifen des Gipsblockes konstant

auf 8 mm gehalten (Abb. 4b), die Spitze des 27 cm langen Tubus wurde stets direkt auf den mittleren Zahn aufgesetzt, das Gipsmodell lag direkt auf dem Film auf (Abb. 4a u. 4b).

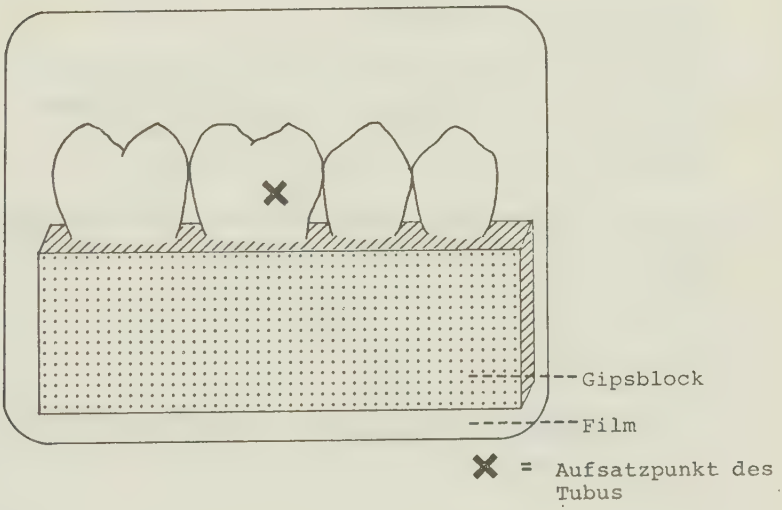


Abb. 4a Gipsblock mit extrahierten Zähnen auf 4 x 5 cm Röntgenfilm gelegt (Aufsicht)

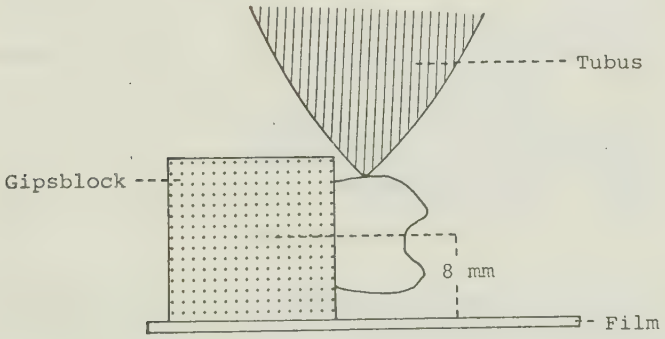


Abb. 4b Gipsblock mit Zähnen auf dem Röntgenfilm, von der Seite gesehen. Abstand Zahnmitte - Film konstant, langer Tubus auf Zahnäquator aufgesetzt.

Film:	Super Dozahn (Du Pont) 4 x 5 cm
Apparat:	Siemens-Röntgenkugel, 60 kV, 10 mA mit zwischengeschaltetem Spannungsausgleicher (für konstante Netzspannung)
Belichtungszeit:	0,8 sec
Entwickeln:	Pantomat (Siemens) (automatisch)
Fixieren:	
Wässern:	
Trocknen:	

Die Röntgenaufnahmen wurden an einem Schaukasten betrachtet und beurteilt.

3.3.3 Füllungen mit radiopakem Kunststoffmaterial bei Patienten

PALAKAV mit viererlei Kontrastmittelzusätzen, die als toxikologisch unbedenklich gelten dürfen, wurde für Füllungen bei Patienten ausgewählt:

- PALAKAV mit 50 % ZrO-Zusatz
  (schwerst löslich, daher relativ untoxisch nach SHAPIRO, 22)
- PALAKAV mit Barium-Titanium-Glas
- PALAKAV mit Bowen-I-Glas (BaF_2)
- PALAKAV mit Bowen-II-Glas (BaO)

Hier waren die Röntgenbedingungen verständlicherweise je nach Zahngruppe unterschiedlich. Angestrebt wurden Aufnahmen in der Bißflügeltechnik, da sie die günstigste Projektion für die Interdentalraumkontrolle darstellen. Auch hier

sollten die radiopaken Füllungen auf dem Röntgenfilm am Schaukasten mit Zähnen und anderen vorhandenen Füllungen verglichen werden.

3.4 Beeinflussung des Kunststoffes durch Kontrastmittelzusätze

3.4.1 Beeinflussung der Verarbeitbarkeit

Die Frage, ob die Kontrastmittelzusätze bei der Verarbeitung des Füllmaterials eine Veränderung brächten, erschien uns wichtig. Da die Untersuchungen aber nicht speziell darauf gerichtet sein konnten, beobachteten wir das Verhalten des Materials beim Anrühren und Aushärten nur, während die Zähne auf den Gipsmodellen und die Prüfplatten (samt ihren vielen Vorversuchen) gefüllt wurden, das heißt pro Material 8 - 10 Mal.

3.4.2 Beeinflussung der Ästhetik und Kosmetik

Ein anderes, noch bedeutsameres Problem war die Beeinflussung der Ästhetik und Kosmetik der Kunststoffüllung durch die Kontrastmittel. Da die Schwermetallsalze alle ein weißes, kreidiges Aussehen haben, sollte versucht werden, etwaige Farbabweichungen des Kunststoffmaterials durch Zusatz von PALAFERM-Pigmentkonzentraten (gelb, braun; Fa. Kulzer) zu korrigieren. Das Aussehen aller radiopaken PALAKAV-Präparate wird in Hinblick auf normales PALAKAV beurteilt werden.

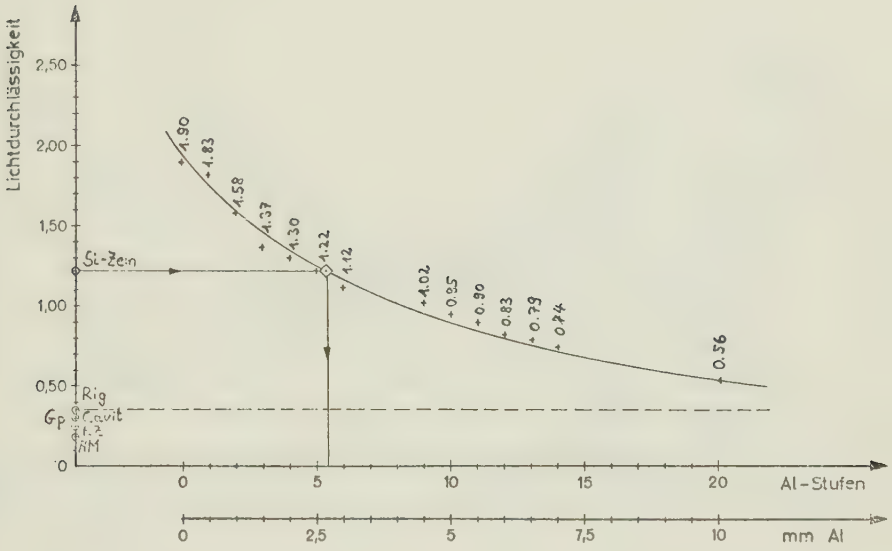
4. ERGEBNISSE DER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN

4.1 Radiopazität der Test- und Vergleichssubstanzen

4.1.1 Densitometrische Untersuchungen

Im Vordergrund der Untersuchungen standen die densitometrischen Röntgenkontrastvergleiche der verschiedenen radiopak gemachten PALAKAV-Sorten mit den Zahnhartsubstanzen und möglichst vielen anderen zahnärztlichen Werkstoffen. Als Maßstab für die Radiopazitätsgrößen legten wir eine Aluminium-Treppe mit einer Feinabstufung von 0,5 mm Aluminium zugrunde.

Die Tabellen 2.1 - 2.8 zeigen die Werte der Lichtdurchlässigkeit, die stets an 3 Punkten des Röntgenbildfeldes jeder Testsubstanz gemessen wurde. Der Mittelwert dieser 3 Werte wurde für die Auswertung in der dazugehörigen Kurve herangezogen. Die Kurve für jede Prüfplatte ergab sich aus den Meßwerten jeder Al-Stufe. Da wegen der geringen Größe der Einzelstufen nur je ein Densitometerwert abgelesen werden konnte, wurde eine Kurve gezeichnet. Da auf diese Weise etwaige Abweichungen der Einzelwerte korrigiert werden, ist diese logarithmische Kurve als Eichskala für die Werte der Testsubstanzen genauer als ein direkter Vergleich mit den gemessenen Werten der Al-Stufen. In die Kurve wurden die Meßwerte der Testpräparate eingetragen und die entsprechende Al-Stufe und Al-Stärke bezeichnet. Diese Beziehung zwischen Testsubstanzen und Al-Skala findet sich ebenfalls in den Tabellen 2.1 - 2.8 dargestellt: Die Al-Stärken in mm gelten als Radiopazitätsmaßzahl "K", z.B. entsprechen 3 mm Dentin 3 mm Al - es wird ihm also die Kontrastzahl K = 3 zugeordnet; der Schmelz erhält demnach K = 4.5 . Die Tabelle 3 zeigt alle Materialien geordnet nach dem Grad ihrer Radiopazität. Um eine übersichtliche Vergleichsmöglichkeit zu bieten, wurde eine Aufteilung in PALAKAV-Präparate, Zahnsubstanzen und andere Vergleichswerkstoffe vorgenommen.

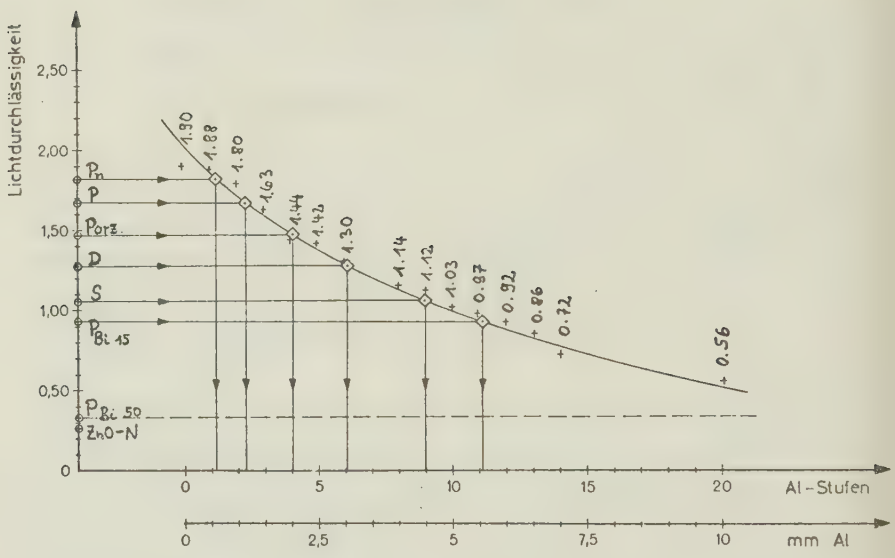


Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 1 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.

Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 1, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
P-Z = Phosphatzement	0.24 0.25 0.26	0.25	»20	»10.0
Rig = Rigodentin	0,36 0.35 0.36	0.36	»20	»10.0
AM = Silberamalgam	0.19 0.21 0.18	0.19	»20	»10.0
Si-Zem = Silikatzement	1.22 1.22 1.21	1.22	5	2.5
Gp = Guttapercha	0.30 0.31 0.30	0.30	»20	»10.0
Cavit	0.34 0.32 0.33	0.33	»20	»10.0

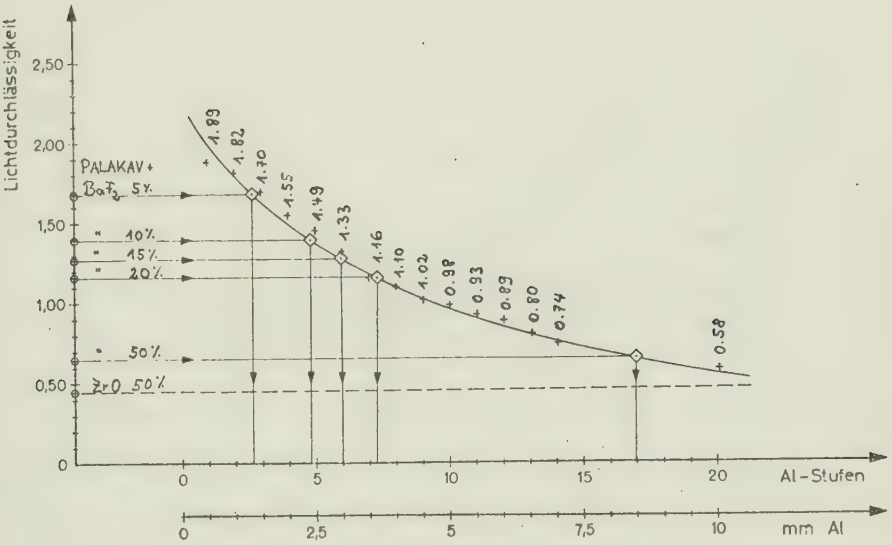
Tabelle 2.1



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 2 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 2, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
ZnO-N = ZnO-Nelkenöl	0.25 0.26 0.28	0.26	» 20	» 10.0
Porz. = Porzellan	1.49 1.46 1.47	1.47	4	2.0
P_n = PALAKAV norm.	1.83 1.83 1.84	1.84	1	0.5
ZAHN: S = Schmelz	1.06 1.05 1.06	1.06	9	4.5
D = Dentin	1.26 1.27 --	1.26	6	3.0
P = Pulp.kavum	1.68 1.70 1.67	1.68	2	1.0
$P_{Bi\ 15}$ = $P_{BiOCl\ 15\%}$	0.93 0.94 0.95	0.94	11	5.5
$P_{Bi\ 50}$ = $P_{BiOCl\ 50\%}$	0.30 0.33 0.34	0.32	» 20	» 10.0

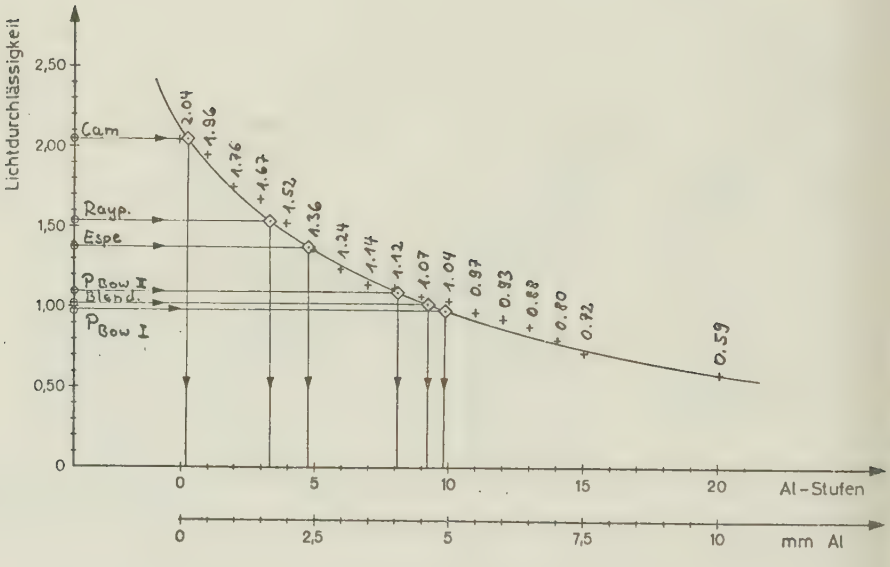
Tabelle 2.2



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 3 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 3, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
PALAKAV +				
ZrO 50 %	0.48 0.45 0.46	0.46	> 20	> 10.0
BaF_2 5 %	1.68 1.70 1.69	1.69	3	1.5
BaF_2 10 %	1.40 1.40 1.39	1.40	5	2.5
BaF_2 15 %	1.27 1.30 1.28	1.28	6	3.0
BaF_2 20 %	1.16 1.17 1.18	1.17	7	3.5
BaF_2 50 %	0.64 0.66 0.65	0.65	17	8.5

Tabelle 2.3

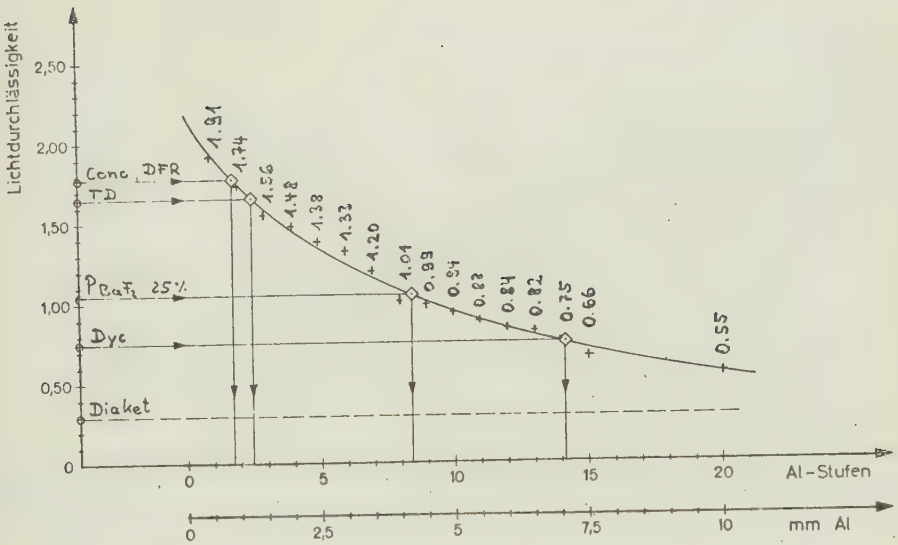


Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 4 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.

Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 4, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
$P_{Bow\ I} = P_{Glas\ BaF_2}$	0.97 1.00 0.98	0.99	10	5.0
Rayp. = Raypaque	1.52 1.57 1.53	1.54	3	1.5
Cam = Camaeleon	2.05 2.04 2.06	2.05	0	0
$P_{Bow\ II} = P_{Glas\ BaO}$	1.09 1.10 1.12	1.10	8	4.0
Blend. = Blendant	1.01 1.02 1.02	1.02	9	4.5
Espe (Vers.muster III/112)	1.38 1.37 1.38	1.38	5	2.5

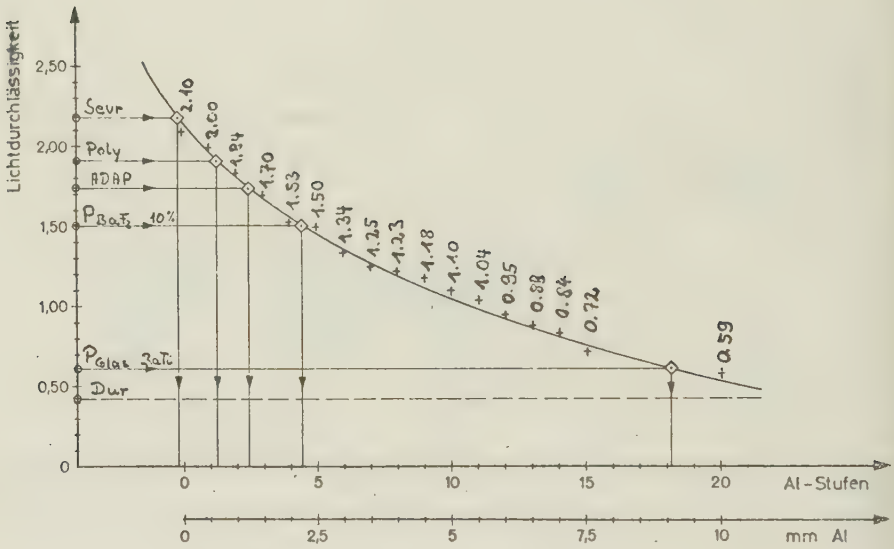
Tabelle 2.4



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 5 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 5, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
Diaket	0.29 0.30 0.31	0.30	» 20	» 10.0
TD = TD 71	1,65 1.66 1.68	1.66	3	1.5
Dyc = Dycal	0.73 0.76 0.75	0.75	14	7.0
P_{BaF_2} 25 %	1.05 1.05 1.05	1.05	8	4.0
Conc = Concise	1.78 1.80 1.78	1.78	2	1.0
DFR	1.77 1.77 1.76	1.77	2	1.0

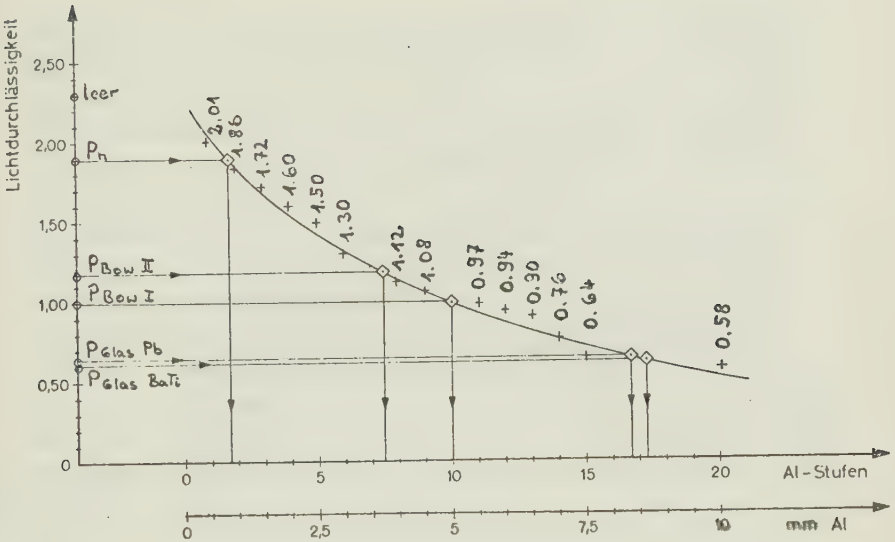
Tabelle 2.5



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 6 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 6, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
$P_{Glas\ BaTi}$	0.60 0.60 0.62	0.61	18	9.0
ADAP = Adaptic	1.75 1.76 1.75	1.75	2-3	1.0-1.5
Sevr = Sevriton	2.20 2.20 2.21	2.20	0	0
P_{BaF_2} 10 %	1.51 1.54 1.49	1.51	5	2.5
Poly = Polycap	1.91 1.93 1.92	1.92	1	0.5
Dur = Durelon	0.43 0.44 0.44	0.44	>20	>10.0

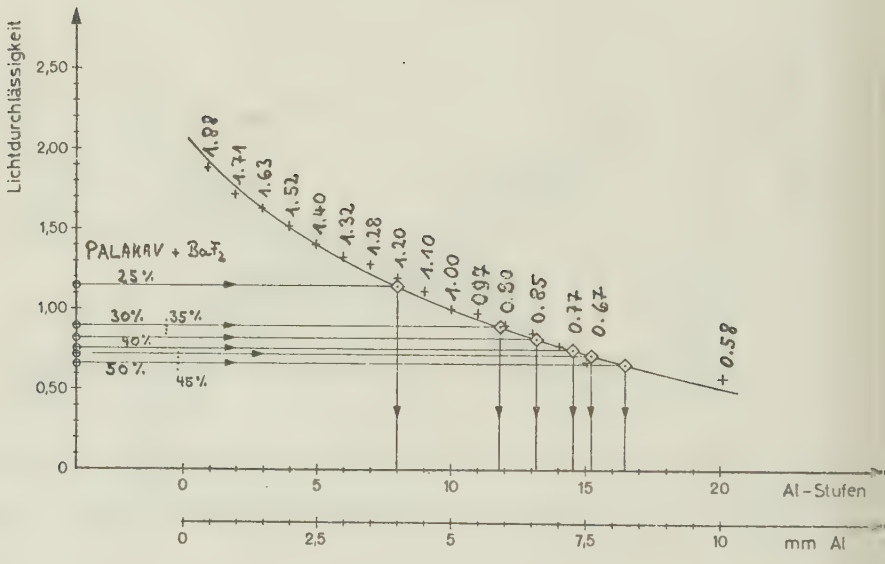
Tabelle 2.6



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 7 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 7, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
P_n = PALAKAV normal	1.88 1.92 1.90	1.90	2	1.0
$P_{Glas\ BaTi}$	0.61 0.64 0.62	0.62	17	8.5
$P_{Glas\ Pb}$	0.65 0.62 0.64	0.64	16	8.0
$P_{Bow\ I} = P_{Glas\ BaF_2}$	1.01 0.98 0.99	1.00	10	5.0
$P_{Bow\ II} = P_{Glas\ BaO}$	1.17 1.18 1.19	1.18	7-8	3.5-4.0
leeres Feld = 2 mm Plexiglas	2.30 2.31 2.29	2.30	0	0

Tabelle 2.7



Eichkurve aus den Densitometer-Meßwerten für die Al-Treppe Nr. 8 . Die unten angegebenen Meßwerte der Testsubstanzen wurden eingetragen und die dem Röntgenkontrast entsprechende Al-Stärke durch die Eichkurve ermittelt.
Die Tabelle beinhaltet die densitometrischen Meßwerte der Testsubstanzen von Prüfplatte 8, dazu die durch die Eichtreppe ermittelten Al-Stufen und die Al-Dicke in mm (= Kontrastzahl K).

Testsubstanzen	3 Meßwerte	Mittelwert	Al-Stufe	mm Al = K
PALAKAV +				
BaF_2 25 %	1.16 1.14 1.15	1.15	8	4.0
BaF_2 30 %	0.88 0.92 0.90	0.90	12	6.0
BaF_2 35 %	0.82 0.82 0.82	0.82	13	6.5
BaF_2 40 %	0.76 0.75 0.74	0.75	14	7.0
BaF_2 45 %	0.71 0.70 0.72	0.71	15	7.5
BaF_2 50 %	0.67 0.66 0.66	0.66	17	8.5

Tabelle 2.8

Die Anteile des Zahnes (Pulpakavum, Dentin und Schmelz) wurden besonders deutlich herausgestellt, um anschaulich zu machen, welche Testmaterialien, insbesondere die PALAKAV-Präparate, radiopaker als Dentin und Schmelz sind, das heißt, wie gut sie sich auf dem Röntgenbild von den Zahnstrukturen abheben und unterscheiden lassen.
Das handelsübliche PALAKAV (im folgenden als PALAKAV normal bezeichnet) ist sogar röntgenstrahlendurchlässiger (K 0.5) als die mit Dentin umgebene Pulpahöhle (K 1.0). Genauso radioluzent sind die Kunststoffüllmaterialien Camaeleon, Adaptic, Polycap, DFR und Sevriton (K 0.5-1.5). TD 71 und ein von der Herstellerfirma als radiopak bezeichnetes Autopolymerisat (Raypaque) für prothetische Provisorien sind kaum strahlenundurchlässiger (K 1.5) als die genannten Kunststoffe.

Ein BaF_2-Zusatz von 5 bis 10 % in PALAKAV (K 2.0 - 2.5) erreicht noch nicht die Röntgenkontraststärke des Dentins (K 3.0) und ähnelt damit Porzellan (K 2.0) und Silikatzement (K 2.5), die wir seit jeher auf Zahnfilmen als nicht "existent" bezeichnen müssen. Ein radiopakes Versuchsmaterial (III/112) der Firma Espe (K 2.5) entspricht dem Silikatzement (Tab. 3).

Mit BaF_2-Konzentrationen von 20 und 25 % (K 3.5 - 4.0) gelangen wir in den Radiopazitätsbereich zwischen Dentin (K 3.0) und Schmelz (K 4.5); alle höheren BaF_2-Konzentrationen sind wesentlich radiopaker ($K \geq 6.0$).

Bei den Wismut-oxi-chlorid-Zusätzen macht bereits eine Konzentration von 15 % das Kunststoffmaterial radiopaker (K 5.5) als Schmelz; eine 50 %ige Zugabe absorbiert ebenso wie 50 % Zirkoniumoxid Röntgenstrahlen in höchstem Grade ($K \approx 10.0$), vergleichbar Materialien wie Cavit, Guttapercha, Rigodentin ($K > 10.0$), die viel Zinkoxid enthalten (PHILLIPS, 18; SAUERWEIN, 21), (siehe Tabelle 4, S. 22b).

Testsubstanzen			Al-Stufe	Kontrast-zahl "K" in mm Al
PALAKAV-Präparat	Zahn	Vergleichsmaterialien		
		Leer-Wert = 2 mm Plexiglas, Camaeleon, Sevriton	0	0
PALAKAV normal		Polycap	1	0.5
	Pulpa-kavum	Concise, DFR	2	1.0
		Adaptic	2-3	1-1.5
P_{BaF_2} 5%		TD 71, Raypaque	3	1.5
		Porzellan	4	2.0
P_{BaF_2} 10%		Silikatzement, Espe Versuchsmat.III/112	5	2.5
P_{BaF_2} 15%	Dentin		6	3.0
P_{BaF_2} 20%			7	3.5
$P_{Glas\ BaO}$			7-8	3.5-4
P_{BaF_2} 25%			8	4.0
	Schmelz	Kerr Blendant	9	4.5
$P_{Glas\ BaF_2}$			10	5.0
P_{Bi} 15%			11	5.5
P_{BaF_2} 30%			12	6.0
P_{BaF_2} 35%			13	6.5
P_{BaF_2} 40%		Dycal	14	7.0
P_{BaF_2} 45%			15	7.5
$P_{Glas\ Pb}$			16	8.0
P_{BaF_2} 50%			16-17	8-8.5
			17	8.5
$P_{Glas\ BaTi}$			17-18	8.5-9
			19	9.0
			20	10.0
P_{ZrO} 50%		Durelon, Cavit, Rigo-dentin, Guttapercha, Diaket, Phosphatze-ment, ZnO-Nelk.öl, Silberamalgam	≫20	≫10.0
P_{Bi} 50%				

Tabelle 3 Testsubstanzen geordnet nach ansteigender Radiopazität (ausgedrückt durch die Kontrastzahl "K" in mm Al)

Material	"K"	Zusammensetzung	Element	Ordn. zahl	%iger Anteil der Gesamtsubstanz
Plexiglas	0	Methacrylsre.-methylester	H C O	1 6 8	ca. 100%
Kunststoffüllmaterialien	o-1.5	" " + Glas, Quarz	"	"	ca. 50%
Porzellan	2.o	70-80% Feldspat	Al	13	8%
Silikatzement	2.5	55% Al_2O_3 25% SiO_2	Al Si O	13 14 8	20% 6% 52%
Dentin	3.o	69% anorgan.	Ca P	20 15	ca. 20% ca. 8%
Schmelz	4.5	96% anorgan.	Ca P	20 15	ca. 30% ca. 10%
Diaket	»10.o	organ. + 20% Wismutphosphat	P Bi	15 83	ca. 2,5% ca. 2,5%
Phosphatzement Durelon, Cavit	»10.o »10.o	30-90% Zn-Oxid	Zn	30	ca. 15-45 %
Guttapercha	»10.o	ZnO	Zn	30	?
ZnO-Eugenol Rigodentin	»10.o »10.o	ca. 95% ZnO	Zn	30	ca. 42 %

Tabelle 4 Materialien mit Radiopazitätsgrad "K", entsprechend ihrem Gehalt an Elementen mit hoher Ordnungszahl.

(Bestandteile von Schmelz und Dentin berechnet nach NEWESELY aus WANNENMACHER, 26. Bestandteile der zahnärztlichen Werkstoffe nach PHILLIPS, 18, und SAUERWEIN, 21)

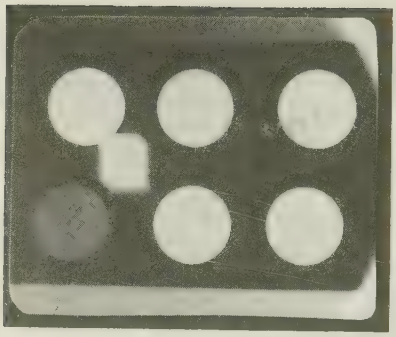


Abb. 5a

»10.0 Phosphat zement	»10.0 Rigo-dentin	»10.0 Amalgam
Silikat-zement	Gutta-percha	Cavit
2.5	»10.0	»10.0

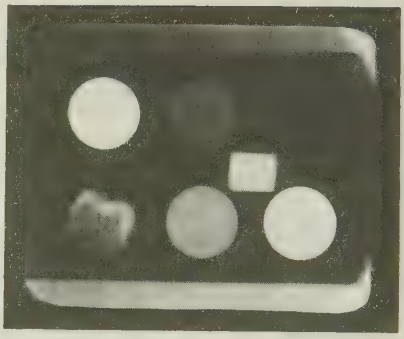


Abb. 5b

»10.0 ZnO-Eug.	2.0 Porzell.	0.5 P norm
Schmelz 4.5 Dentin 3.0 Pulp.cav. 1.0	P_{Bi} 15	P_{Bi} 50
	5.5	»10.0

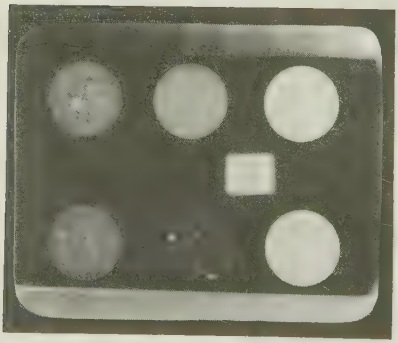


Abb. 5c

3.0 P_{BaF_2} 15	3.5 P_{BaF_2} 20	8/8.5 P_{BaF_2} 50
P_{BaF_2} 10	P_{BaF_2} 5	P_{ZrO} 50
2.5	1.5	10.0

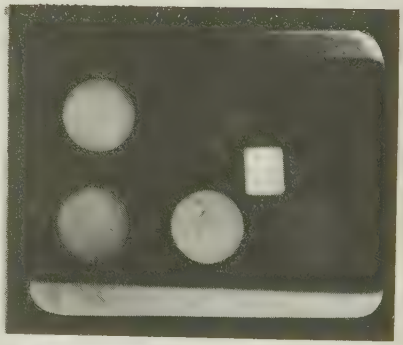


Abb. 5d

5.0 P_{Glas} Bowen I	1.5 Raypaque	0 Camael.
P_{Glas} BowenII	Blendant	ESPE-vers.-mat.
3.5/4	4.5	2.5

Abb. 5a - 5d Prüfplatten mit Testsubstanzen und deren Kontrastzahl "K"

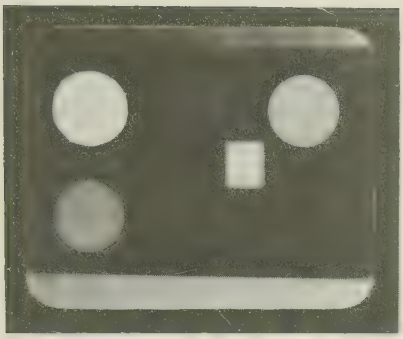


Abb. 5e

»1o.o Diaket	1.5 Td 71	7.o Dycal
P_{BaF_2} 25 4.o	Concise 1.o	DFR 1.o

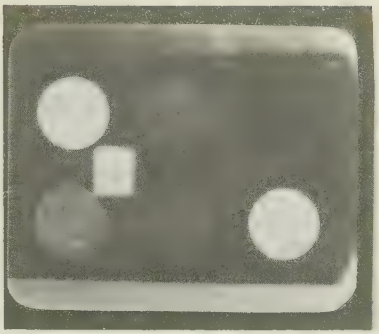


Abb. 5f

P 8.5/9 Glas BaTi	1-1.5 Adaptic	o Sevriton
P_{BaF_2} 1O 2.5	Polycap o.5	Durelon >1o.o

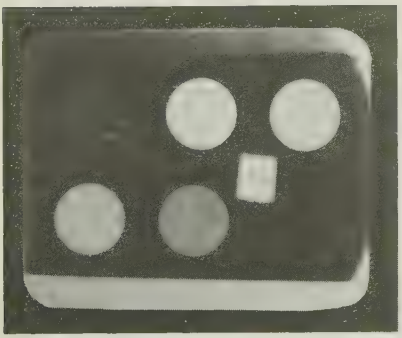


Abb. 5g

o.5 P norm.	8.5/9 P_{Glas} BaTi	8.o P_{Glas} Pb
P_{Glas} BowenI 5.o	P_{Glas} BowenII 3.5/4	leer o

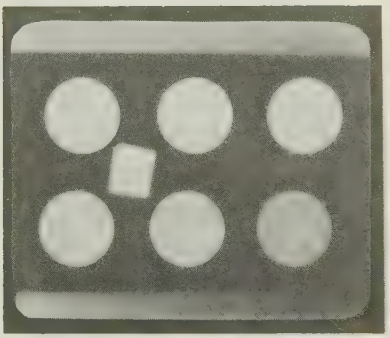


Abb. 5h

4.o P_{BaF_2} 25	6.o P_{BaF_2} 3O	6.5 P_{BaF_2} 35
P_{BaF_2} 4O 7.o	P_{BaF_2} 45 7.5	P_{BaF_2} 5O 8/8.5

Abb. 5e - 5h Prüfplatten mit Testsubstanzen und deren Kontrastzahl "K"

Bei PALAKAV mit Bowen-Gläsern liegen die Röntgenkontrastgrade um den des Schmelzes (K 4.5), das Bowen-I-Glas (mit 28 Mol % BaF_2) ist etwas radiopaker (K 5.o), das Bowen-II-Glas (BaO) etwas schwächer (K 3.5 - 4.o). Ein radiopakes Kunststoffüllmaterial der Firma Kerr (Blendant) entspricht mit K 5.o dem Schmelz. Besonders stark röntgenstrahlenundurchlässig sind die PALAKAV-Kombinationen mit Blei- und Barium-Titanat-Glasperlen (K 8.o - 9.o).

Von den konventionellen zahnärztlichen Materialien wurden Porzellan und Silikatzement mit ihrer großen Röntgenstrahlendurchlässigkeit erwähnt (K 2.o), (niedriger Gehalt von Aluminium und Silizium). Zu den extrem undurchlässigen Materialien zählen diejenigen mit hohem Zinkoxid-Gehalt ($K \geq 10.o$), außer den oben genannten noch Zink-oxi-phosphat-Zement, ZnO-Eugenol und das Wurzelfüllmaterial Diaket, das zusätzlich 20 % Wismutphosphat enthält. Das radiopakste Material ist Silberamalgam (Silber, Quecksilber, Zinn), reines Metall, damit auch stellvertretend für die Goldgußfüllung ($K \gg 10.o$), (siehe Tab. 3).

Die Prüfplatten mit allen Testsubstanzen und den Aluminiumtreppen sind auf den Abbildungen 5a - 5h dargestellt.

4.1.2 Vergleich von Füllungen in extrahierten Zähnen

Alle Füllungsmaterialien, insbesondere die radiopaken PALAKAV-Testpräparate sollen ihre Röntgenkontrastfähigkeit durch Füllungen in Zähnen demonstrieren. In extrahierten Zähnen auf Gipsblöcken konnten alle Materialien zur Anwendung gelangen. Zwar wurden von jedem Material mindestens zwei, möglichst mehrflächige Füllungen gelegt und anschliessend einer Röntgenaufnahme unterzogen. Da es jedoch im Rahmen dieser Arbeit unmöglich und nicht sinnvoll ist, alle Aufnahmen zu zeigen, wurden nur die eindrucksvollsten Darstellungen von den wichtigen Substanzen - wie folgt - ausgewählt:

Versuchsmaterialien: PALAKAV normal
PALAKAV mit ZrO_{5o}, Bi_{15}, Bi_{5o}, $BaF_{2\,2o}$
PALAKAV mit Gläsern $_{BaTi}$, Pb,
BaF_2 (BOWEN I),
BaO (BOWEN II)

Andere Kunststoff-füllmaterialien: BLENDANT
ESPE Versuchs-Nr. III/112
ADAPTIC, stellvertretend für andere radioluzente Kunststoffe

Herkömmliche Füllungswerkstoffe: Silberamalgam (AM)
Silikatzement
Steinzement

Die Füllungen wurden mit Absicht nicht wie "Paradestücke" angefertigt, um herauszustellen, welche Unzulänglichkeiten der Füllungsgestaltung erst durch die Röntgensichtbarkeit des Füllungsmaterials entdeckt werden können.

Beschreibung der Modellfüllungen:

Werden Füllungen mit handelsüblichem PALAKAV (P_n) gelegt (auf Abb. 10 mo- und auf Abb. 11 approximal-palatinal), scheinen auf den Röntgenbildern die Kavitäten leer zu sein. Auf Abbildung 6 zur Verdeutlichung ein Sonderfall: Bei einer radiopaken P_{ZrO}-Füllung (od) besteht die mesiale Hälfte des okklusalen Füllungsanteils aus normalem P - wir erkennen lediglich einen Hohlraum im Zahn. Ein eindrucksvolles Beispiel vom Nachteil fehlender Radiopazität sollen die Abbildungen 12 und 13 wiedergeben. Die Fotografien (Abb. 12a,13a) zeigen Zähne mit approximal überstehenden Füllungsrändern (PALAKAV normal), die dazugehörigen Röntgenbilder (Abb. 12b,

13b) lassen nicht die schlechte Füllungsqualität erkennen.

Ebenso stellt sich das radioluzente ADAPTIC in einer mod-Kavität auf Abbildung 8 dar: es zeigen sich nur anscheinend unversorgte Kavitäten in den Zahnhartsubstanzen.

Ähnliches trifft bei der Silikat-Füllung zu. Abbildung 7b zeigt eine scheinbar leere Approximalkavität (mit palatinalem Schwalbenschwanz). Ein Vergleich mit der tatsächlich noch ungefüllten Kavität (Abb. 7a) verdeutlicht den schwachen Radiopazitätsgrad des Silikatzements. Auf Abbildung 9 ist ein Zahn zu sehen, der okklusal nach einer Unterfüllung mit Phosphatzement (röntgenologisch sichtbar) mit Silikatzement gefüllt wurde (unsichtbar).

Daß Steinzement durch seinen Zinkoxid-Gehalt (Verwandtschaft zum Phosphatzement) etwas radiopaker als Silikatzement ist, zeigt ein Frontzahn auf Abbildung 11, der bereits bei seiner Extraktion eine alte approximal-palatinale Steinzementfüllung (samt Wurzelfüllung) besaß.

Eine PALAKAV-Mischung mit 20 % BaF_2-Zusatz läßt die Füllungskonturen (Abb. 10) gerade noch erkennen, ist aber in ihrem Aufbau sehr inhomogen: von den Zahnhartsubstanzen heben sich hauptsächlich die im Kunststoff unregelmäßig verteilten BaF_2-Klümpchen ab und lassen daher eine genaue Beurteilung der Füllungsqualität nicht zu.

Die unterschiedliche Röntgendarstellbarkeit der Bi-Zusätze von 15 und 50 % zu PALAKAV zeigt Abbildung 9: $P_{Bi\ 15\%}$ als eine gerade erkennbare mo-Füllung (das radiopake Wurzelfüllmaterial einer alten, unsachgemäßen Pulpenamputation hebt sich scharf davon ab), $P_{Bi\ 50}$ in einer okklusalen und cervicalen Kavität, die sich dem Zahn aufprojiziert. $P_{Bi\ 50}$ gibt

einen so großen Röntgenkontrast, daß die okklusale Füllung auf Abbildung 9 fast mit der okklusalen Amalgamfüllung auf Abbildung 6 verwechselt werden könnte. Wie sehr sich die Röntgenkontraststärken von $P_{Bi\ 5o}$ und $P_{ZrO\ 5o}$ - wie bereits densitometrisch verglichen - entsprechen, zeigt die Abbildung 9 (P_{ZrO} od-Füllung). Eine okklusale P_{ZrO}-Füllung befindet sich auf Abbildung 6 zum Vergleich mit Amalgam und PALAKAV mit radiopakem BaTi-Glas, denen es sehr ähnelt.

Bei den PALAKAV-Kombinationen mit radiopaken Gläsern waren sich nach den Densitometer-Untersuchungen das Pb- und BaTi-Glas fast ebenbürtig. Eine erneute Bestätigung dafür seien folgende Abbildungen:

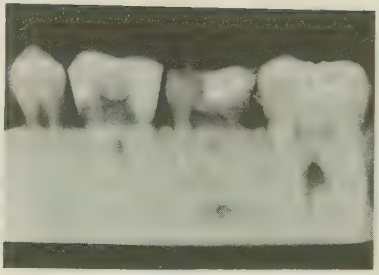
$P_{Glas\ BaTi}$ auf Abbildung 6 (mod und od)
auf Abbildung 7b (mo) mit überstehendem Approximalrand, nach versuchter Korrektur
auf Abbildung 7c.

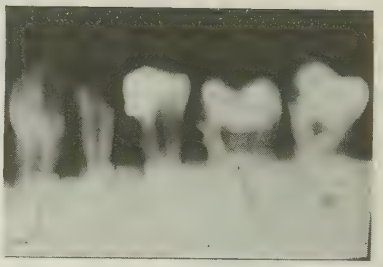
$P_{Glas\ Pb}$ ebenfalls auf Abbildung 7b (mo) und korrigiert auf Abbildung 7c; zur Verdeutlichung der Füllungsformen auf Abbildung 7a die präparierten, ungefüllten Kavitäten.

Wie nahe diese P-Glas-Materialien im Röntgenkontrast dem Amalgam stehen, ist gleichfalls aus Abbildung 7 (b+c) ersichtlich. In der Radiopazität zwar etwas schwächer als $P_{Glas\ BaTi/Pb}$, aber noch stärker als der Schmelz und darum sehr gut in der Kavität erkennbar, ist $P_{Glas\ BaF_2}$ (BOWEN I).
Beispiele dafür finden wir auf

Abbildung 10 als 2-flächige Füllung in einem Molaren (dicker Kontaktpunkt, neben einer BaO-(BOWEN II)-Glasfüllung)

Abbildung 8 in einer mod-Kavität, zum Vergleich mit anderen Kunststoffmaterialien: ebenbürtig an Kontrast ist BLENDANT, fast unsichtbar das ESPE-Material





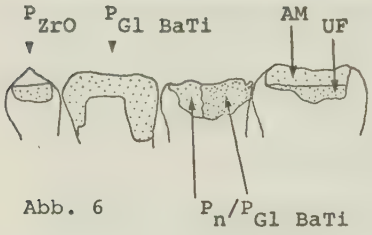


Abb. 6

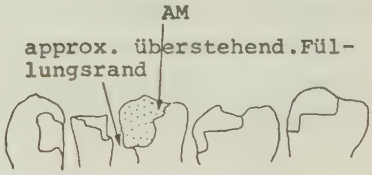
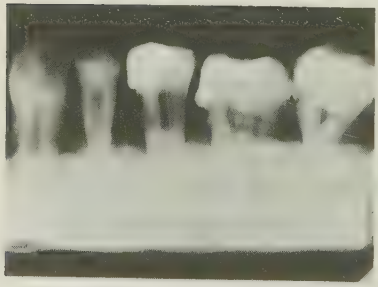
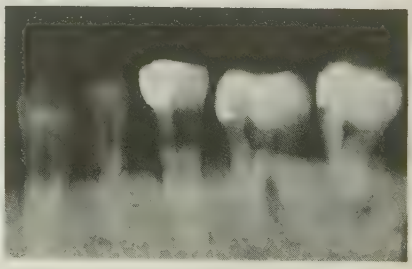


Abb. 7a präparierte ungefüllte Kavitäten





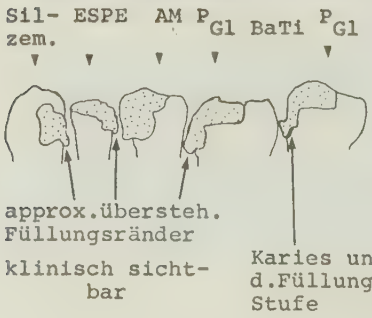
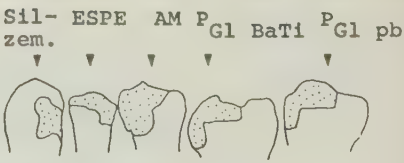
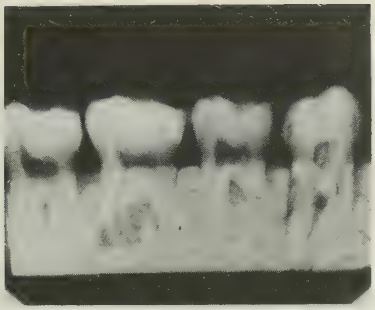


Abb. 7b



nach Entfernung der überstehenden Füllungsränder

Abb. 7c



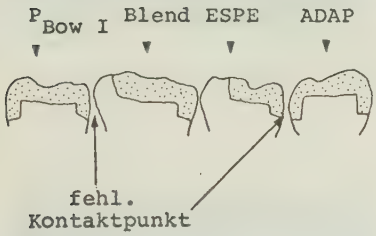


Abb. 8

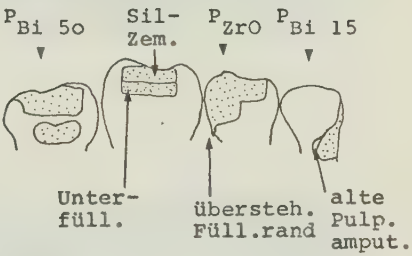
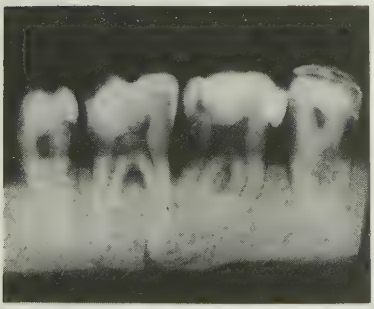


Abb. 9



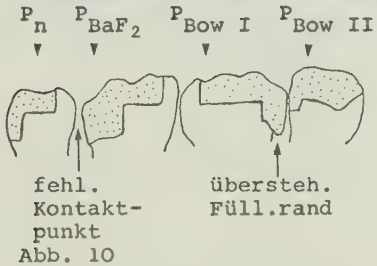
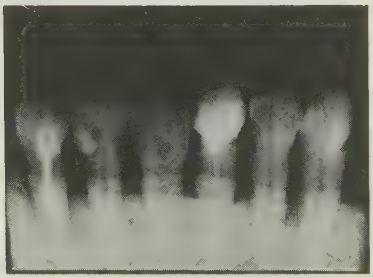


Abb. 10



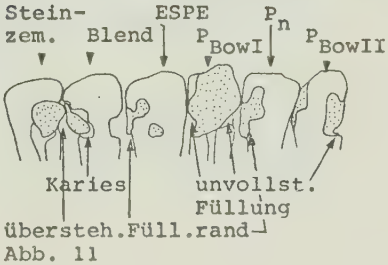


Abb. 11

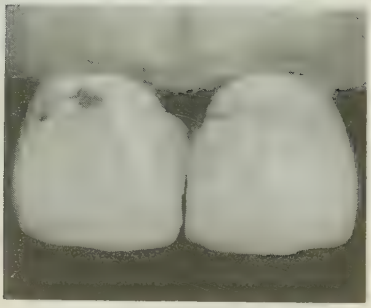


Abb. 12a

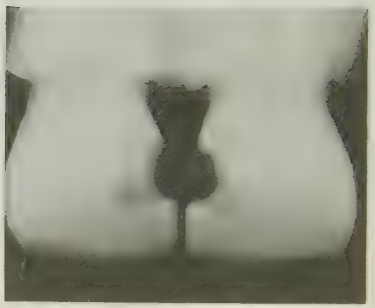


Abb. 12b

Abb. 13a

Abb. 13b

Abb. 12a + b, 13a + b: Röntgenologisch "unsichtbare" PALAKAV-Füllungen (12b, 13b) mit approximal klinisch deutlich überstehenden Rändern (12a, 13a).

und "gänzlich" unsichtbar ADAPTIC.

Abbildung 11 mit drastischen Beispielen von unvollständigen Frontzahnfüllungen - als Vergleich mit $P_{Glas\ BaO}$, BLENDANT, ESPE, Steinzement und unsichtbarem PALAKAV.

4.1.3 Radiopake PALAKAV-Füllungen bei Patienten

Bei Patienten wurden Füllungen mit folgenden Materialien gelegt:

P_{ZrO}	(20 gelegt,	bei 13	Röntgenkontrollaufn.	möglich)
$P_{Glas\ BaTi}$	(27 " , "	19	"	")
$P_{Glas\ BaO}$	(12 " , "	10	"	")
$P_{Glas\ BaF_2}$	(19 " , "	14	"	")

Auch hier gelangen hauptsächlich Füllungen, die qualitative Mängel aufweisen, zur Darstellung, um die Bedeutung der Röntgenkontrastfähigkeit hervorzuheben.

Abbildung 14 zeigt zwei Molaren (467) mit od/mo-Füllungen aus P_{ZrO} im Zuge einer Cp-Therapie (benachbarte Prämolaren mit Amalgam). Die Füllungen wurden mit Matritze gelegt. Der distale Füllungsrand mit fehlendem Randschluß von Zahn 46 möge beachtet werden.

Exakten Randschluß und einen etwas plumpen Kontaktpunkt zeigt der Zahn 16 (od) auf Abbildung 15. Diese $P_{Glas\ BaTi}$-Füllung wurde mit Matritze gelegt, der Kontaktpunkt nach

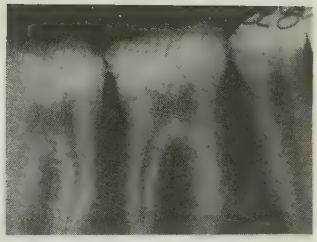


Abb.14 Zähne 467 (od/mo P_{ZrO} 46 distaler Füllungsteil unvollständig (klinisch nicht feststellbar). Schwacher Kontaktpunkt.

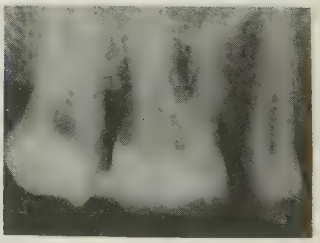


Abb.15 Zahn 16 (od) $P_{Glas\ BaTi}$ plumper Kontaktpunkt

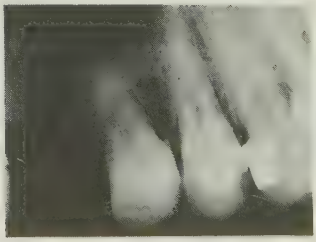


Abb.16 Zahn 15 (mod) $P_{Glas\ BaTi}$ mesial zart überstehender Füllungsrand (mit Sonde nicht fühlbar)

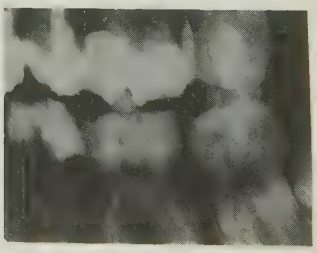


Abb.17 Zahn 36 (mod) $P_{Glas\ Bow\ I}$ Spalt an approx.-cerv. Stufen (mit Sonde nicht feststellbar). Zahn 35 Guttapercha, Zähne 24-27 Amalgam.

dem Abnehmen der Matritze aufgetragen (Zahn 27 Amalgam). Mit dem gleichen Material wurde der Zahn 15 (Abb. 16) mod zwecks Vorbereitung zur Überkronung gefüllt. Welch eine hohe Radiopazität das BaTi-Glas der Kunststoffüllung verleiht, beweist die Erkennbarkeit des mesial zart überstehenden Füllungsrandes!

Etwas schwächer radiopak als $P_{Glas\ BaTi}$, aber gut kontrastierend, stellt sich das $P_{Glas\ BaF_2}$ (Bowen I) dar, wie zwei Beispiele zeigen sollen. Auf Abbildung 17 ist der Zahn 36 mod mit $P_{Glas\ Bow\ I}$ gefüllt, die cervikalen Randspalte mesial und distal fallen ins Auge. Als passender Vergleich die Füllmaterialien der Nachbarzähne: Zahn 35 provisorisch mit Guttapercha nach Unterfüllung versorgt, alle anderen Zähne mit Amalgam gefüllt. Etwas kleinere, aber dennoch sichtbare, cervikale Randspalte approximal weist die mod-Füllung in Zahn 15 (Bild 18) auf, mesial wurde kein Kontaktpunkt geschaffen.

Noch geringeren Röntgenkontrast als die drei eben dargestellten PALAKAV-Präparate besitzt $P_{Glas\ BaO}$ (BOWEN II), wie bereits die densitometrischen Vergleiche ergaben. Dennoch lassen sich die Füllungskonturen gerade noch deutlich neben den Zahnhartsubstanzen erkennen, wie die Füllungen der Zähne 367 auf Abbildung 19 zeigen: die mod-Füllung im Zahn 36 besitzt mesial keinen Randschluß, an der mesialen Schulter ist das Füllungsmaterial nicht vollständig ausgeflossen, distal scheint gar ein Hohlraum (Luftblase beim Einbringen des Materials) in der Füllung zu sein. Der Kontaktpunkt zwischen den Zähnen 36 und 37 fehlt. Zwischen den Zähnen 35 und 36 war klinisch ein Kontaktpunkt nachweisbar (Zahnseide ging nur mit Mühe hindurch), aber für eine sehr dünne Schichtdicke erweist sich die Radiopazität dieses Materials doch zu schwach. Der Zahn 37 auf der gleichen Ab-

bildung ist exakt mo abgefüllt. Die verhältnismäßig transluzente Abzeichnung des approximalen Füllungsanteiles erklärt sich aus der Stellung des Radiopazitätsgrades von $P_{Glas\ BaO}$ im Bereich zwischen Dentin und Schmelz.

Bei der do-Füllung des Zahnes 15 mit $P_{Glas\ BaO}$ (Abb. 2o) fehlt offensichtlich jeglicher Kontakt zum Nachbarzahn. Wegen der lückigen Zahnstellung wurde bewußt auf die Herstellung einer Kontaktfläche verzichtet. Am approximalcervikalen Füllungsrand fällt ein winziger Spalt nur bei sehr gründlicher Betrachtung (möglichst mit Lupe) auf.

Die gleiche Unzulänglichkeit finden wir bei der mod-Füllung des Zahnes 16 ($P_{Glas\ BaO}$) auf Abbildung 21 in ihrem mesialen Bereich, distal ist die Füllung in Höhe des Kontaktpunktes unvollständig.

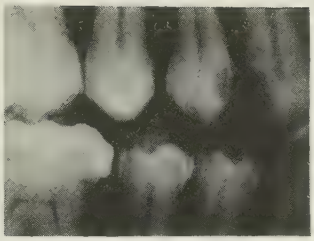


Abb.18 Zahn 15 (mod)

$P_{Glas\ Bow\ I}$
approx.-cerv. kleine Randspalte (nicht sondierbar). Mesial kein Kontaktpunkt.

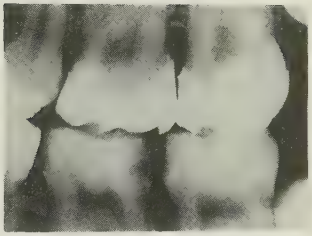


Abb.19 Zähne 367 (mod/mo)

$P_{Glas\ Bow\ II}$
36 in approx. Kästen unvollständig (nicht sondierbar). 37 Füllungsrand exakt, kein Kontaktpunkt.

Abb.20 Zahn 15 (do)

$P_{Glas\ Bow\ II}$
winziger Randspalt distal (nicht sondierbar), keine Kontaktpunkte.

Abb.21 Zahn 16 (mod)

$P_{Glas\ Bow\ II}$
distal Füllung unvollständig (mit Kuhhornsonde tastbar), mesial winziger Spalt an der Stufe (nicht sondierbar).

4.2 Beeinflussung des Kunststoffmaterials durch Kontrastmittelzusätze

4.2.1 Beeinflussung der Verarbeitbarkeit

In Bezug auf die Verarbeitbarkeit fiel bei den Pulverzusätzen (BaF_2, ZrO, BiOCl) auf, daß ab 35 - 40 %iger Konzentration das flüssig angerührte Kunststoff-Kontrastmittel-Gemisch etwas früher teigig wurde; übliches PALAKAV war ca. 1/2 Minute länger flüssig. Bis zur völligen Aushärtung dauerte es bei den Mischpräparaten ca. 1 Minute länger. Das gleiche trat bei den PALAKAV-Kombinationen mit BOWEN-Gläsern (BaF_2 und BaO) ein, deren Granulatgröße mit 20 µ ungefähr der Partikelgröße der oben genannten Schwermetallsalze entspricht.

Kombinationen von PALAKAV mit Pb- und BaTi-Glas (Granulatgröße wie beim normalen P $\leq$ 50) wichen in ihrem Verhalten nicht von reinem PALAKAV ab.

4.2.2 Beeinflussung der Ästhetik und Kosmetik

Bedeutsamer ist die Prüfung, wie die Ästhetik und Kosmetik der Kunststoffüllung - einer ihrer größten Vorzüge - durch die Kontrastmittelzugaben beeinflußt werden.

BaF_2-Pulverzusätze bis ca. 30 % verändern das Aussehen des Materials nicht; BURSEY und WEBB (8) waren bei ihren Untersuchungen zu der genauen Angabe von 28,5 % BaF_2 gelangt. Alle diese weißen Salzzusätze über 35 % machen die Füllung kreidig weiß (Aussehen wie Phosphatzement); dies zeigten besonders die ZrO- und BiOCl (50 %)-PALAKAV-Mischungen.

Nach Korrekturversuchen durch Pigmentzusätze (PALAFERM, Fa. Kulzer) in gelb und braun konnte zwar eine bessere Farbangleichung an den Zahn erreicht werden. Der typische transparente Schimmer des Kunststoffüllmaterials aber war verloren gegangen, die Füllung blieb trübe und opak.

Bei den PALAKAV - BiOCl - Präparaten fiel etwas Außergewöhnliches auf: Nach einigen Wochen hatten sich die Füllungsoberflächen hellgrau verfärbt, nach einigen Monaten dunkelgrau bis schwärzlich. Es ist wahrscheinlich, daß durch die Luftfeuchtigkeit das Wismutoxichlorid der Hydrolyse unterlag und reduziertes Wismut als grauer Belag die Oberfläche überzog. Der Gedanke liegt nahe, wie sehr erst das feuchte Milieu der Mundhöhle einen solchen Vorgang an einer BiOCl enthaltenden Füllungsoberfläche begünstigen würde.

Eine Oberflächenveränderung - wenn auch in sehr geringem Maße - zeigten auch die BOWEN-Glas-PALAKAV-Füllungen. Einige Stunden nach dem Aushärten war die Oberfläche durch kleine weißliche Partikel etwas verschleiert, sonst war das Material farbtreu und transparent. Diese Veränderung wurde jedoch nur bei den an der Luft liegenden Oberflächen gefunden (auf Prüfplatten und Zahnmodellen), bei im Munde gelegten Füllungen war nichts dergleichen festzustellen.

Die Pb- und BaTi-Glaspräparate waren ästhetisch einwandfrei und unterschieden sich nicht von üblichem PALAKAV. Pb-Glas enthaltendes Material wurde nicht in der Mundhöhle erprobt, da Verfärbungsmöglichkeiten durch Bildung von Bleisulfid wahrscheinlich sind (BOWEN, 5), abgesehen von einer eventuellen toxischen Wirksamkeit.

5. KRITISCHE AUSWERTUNG DER EIGENEN ERGEBNISSE

Die kritische Auswertung der Untersuchungen beinhaltet zwei Hauptfragen:

- Welche der getesteten PALAKAV-Präparate sind genügend radiopak, um als Füllung deutlich zum Zahnhartgewebe zu kontrastieren?
- Welche der Testsubstanzen mit ausreichender Röntgenkontrastfähigkeit kann klinisch am Patienten verwendet werden?

Bei den Testmaterialien lagen $P_{Glas\ BaO}$ und P_{BaF_2} 20-25 % im Radiopazitätsgrad unter dem des Schmelzes, sie heben sich zwar vom Dentin, jedoch nicht vom Schmelz deutlich genug ab (siehe Füllungsbeispiele Abb. 10, 11, 19, 20, 21). Am besten lassen sich Füllungen beurteilen, die noch radiopaker als Schmelz sind:

Schwermetallsalzpräparate P mit BaF_2 > 30 %, BiOCl 15 % und 50 %, ZrO 50 %

P-Glas-Kombinationen mit BaTi-, BaF_2 (BOWEN I)- und Pb-Gehalt.

So erfreulich der hohe Radiopazitätsgrad dieser Substanzen ist, so fraglich ist doch ihr kritikloser klinischer Einsatz. Alle Schwermetallzusätze bringen den großen Nachteil einer kosmetisch minderwertigen Füllung durch kreidig weiße Verfärbung. Davon abgesehen ist die Frage ungeklärt, wie sich die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes verändern, wenn diese Partikel wie isolierte Fremdkörper zwischen den Kunststoffmolekülketten liegen und diese unterbrechen, da sie chemisch mit ihnen nicht verknüpft sind. Sie scheiden daher von der Anwendung am Patienten aus.

Günstiger war die Methode, den Glasfüllstoff radiopak zu machen, der durch seine Oberflächensilanisierung eine echte chemische Verbindung zur umgebenden Kunststoffmatrix eingeht (BOWEN, 5) und damit die mechanische Qualität der Füllung nicht in Frage stellt. Was das kosmetische Problem betrifft, so verringert es sich, je mehr der Brechungsindex des radiopaken Glases dem des Kunststoffpolymer gleich wird (BOWEN und CLEEK, 5, 6). Bei den Pb- und BaTi-Gläsern ist uns unbekannt, ob diese Forderung erfüllt ist (wir befanden diese Glaspräparate ästhetisch für sehr gut); BOWEN und CLEEK (5, 6) jedoch legten auf diesen Punkt bei der Herstellung ihrer Gläser größten Wert. Für die klinische Anwendung scheidet auch das Bleiglas aus, da - abgesehen von seiner möglichen Toxizität - mit Verfärbung der Füllung durch Sulfidbildung gerechnet werden muß (BOWEN, 5).

Damit bleiben uns das BaTi-Glas und die BOWEN-Gläser als verwertbare Präparate. Von den BOWEN-Gläsern entwickelten BOWEN und CLEEK (6) das BaO-Glas 1970 als Verbesserung zum BaF_2-Glas von 1969, denn nur beim Fluor-freien Glas blieb der Brechungsindex während des Umschmelzens in Glasügelchen konstant. Dennoch halten wir das BaF_2-Glas wegen seiner höheren Radiopazität für günstiger. CHANDLER e.a. (9) untersuchten 1971 110 Füllungen mit BaF_2-Glas-Gehalt und befanden sie hinsichtlich Radiopazität und Ästhetik für sehr gut. Das bestärkt uns darin, die PALAKAV-Kombinationen mit BaF_2-Glas neben BaTi-Glas unter Berücksichtigung der Fragen 1 und 2 als bestes radiopakes Testpräparat dieser Untersuchung zu erachten (Abb. 6-8, 10, 11, 15-18).

An dieser Stelle sollen noch zwei andere "Composite"-Materialien mit unbekannten radiopaken Zusätzen in den Vergleich miteinbezogen werden, nämlich BLENDANT (KERR) und

das Versuchsmuster Nr. III/112 der Firma ESPE. BLENDANT, das bereits seit einiger Zeit klinische Anwendung findet, ist so stark radiopak wie das BOWEN I-Glas (BaF_2) und kann somit als sehr günstig beurteilt werden. Das Versuchsmuster von ESPE gibt nur sehr schwachen Röntgenkontrast (etwas geringer als Dentin nach densitometrischer Untersuchung). Da auch über seine sonstigen Materialeigenschaften nichts bekannt wurde, erscheint uns seine klinische Verwendbarkeit fraglich. Alle übrigen Kunststoffpräparate (ADAPTIC, CAMAELEON, CONCISE, DFR, POLYCAP, SEVRITON und TD / TD 71) erwiesen sich in unseren Untersuchungen als radioluzent (röntgenstrahlendurchlässig).

Als wichtigen Nebenbefund ihrer Untersuchungen erwähnen CHANDLER, BOWEN, PAFFENBARGER und MULLINEAUX (9), daß in vielen der röntgenologisch kontrollierten Füllungen Hohlräume gefunden wurden - ein Befund, der auch bei einigen unserer Füllungen anzutreffen war. Nach ihrer Aussage auf Grund genauer Untersuchungen handelt es sich dabei stets um Kavitätenbezirke, die dem Füllinstrument (und nachher der tastenden Sonde!) schlecht zugänglich sind. Wenn solche Hohlräume und Spalten in Verbindung zur Mundhöhle stehen, werden sie zu bevorzugten Retentionsstellen für Speisereste und Nistplätzen für Bakterien mit den bekannten Folgen. Kunststoffüllungen müssen also mit größter Sorgfalt gelegt werden, nachdem nun dank der Röntgendarstellbarkeit kontrollierbar ist, welche Mängel auch klinisch korrekt erscheinende Füllungen haben können.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Kunststoffüllmaterialien, die in der zahnärztlichen Praxis immer mehr den Platz der Silikatfüllungen einnehmen, fehlt - wie diesen - eine Eigenschaft, die für ihre klinische Anwendbarkeit von großer Bedeutung ist: die Darstellbarkeit im Röntgenbild. Da eine röntgenologische Kontrollmöglichkeit von Füllung und Kavität in Bereichen, die Auge und Sonde nicht zugänglich sind, gefordert werden muß, hatten wir uns die Aufgabe gestellt, ein Kunststoffüllmaterial durch verschiedene Zusätze radiopak zu machen.

Hauptziel der Arbeit war es, daß das Füllmaterial möglichst stark radiopak sei, sich also im Röntgenbild möglichst deutlich von den Zahnhartsubstanzen abhebe. Gleichfalls wichtig war uns die Forderung, daß die Kontrastmittelzugabe nicht die klinische Verwendbarkeit in Frage stellte. Hierbei richteten wir unser Augenmerk auf das Verhalten der Präparate bei der Verarbeitung und insbesondere auf die Ästhetik und Kosmetik, eine der Hauptqualitäten der Kunststoffüllung.

Für unsere Untersuchungen stand uns das Composite-Material PALAKAV der Firma Kulzer, Bad Homburg v.d.H., zur Verfügung. Als Kontrastmittelzusätze wurden zwei Hauptgruppen in Kombination mit PALAKAV erprobt:

Schwermetallsalze als einfache Mischung mit dem Polymerpulver: BaF_2, ZrO, BiOCL

radiopake Glasgranulate, die in chemischer Bindung den üblichen Glasfüllstoff ersetzen: Pb-Glas, BaTi-Glas und von BOWEN BaF_2- und BaO-Glas.

Durch objektive densitometrische Untersuchungen mit Aluminium-Eichtreppen wurden diese Testpräparate mit anderen Füll-

materialien (sowohl herkömmlichen wie Amalgam, Silikat ... als auch anderen Füllungskunststoffen) verglichen. Wir kamen zu folgenden Ergebnissen:

PALAKAV mit 50 % Schwermetallsalz als Zusatz sowie mit Pb-, BaTi- und BaF_2-Glas-Granulat besaß den höchsten Radiopazitätsgrad, er liegt wie bei Amalgam weit über dem des Schmelzes. Daher zeichnen sich diese Präparate ähnlich gut erkennbar wie Amalgam in einer Kavität ab. Geringere Radiopazität als Schmelz wiesen PALAKAV mit BaF_2-Zusätzen < 25 % und PALAKAV mit BaO-Glas auf, solche Füllungen heben sich wesentlich schwächer vom Zahn ab.

Da das typisch transparente Aussehen des Kunststoffmaterials durch die kreidig weißen Salzbeimengungen sehr beeinträchtigt wird, sind diese für die klinische Anwendung unbrauchbar. Durch eine zusätzliche, hydrolytisch bedingte Grauverfärbung der Füllungsoberfläche sind die Bi-O-Cl-Präparate für die Verwendung in der Mundhöhle absolut ungeeignet. Bleiglas-Präparate müssen wegen Verfärbungsmöglichkeit und wahrscheinlicher Toxizität für den Patienten ausscheiden.

Als günstige radiopake Testpräparate können wir die PALAKAV-Kombinationen mit BaTi-Glas und BaF_2-Glas benennen, denn sie zeichnen sich nicht nur durch starken Röntgenkontrast (Abb. 6, 7, 8, 10, 16, 18), sondern auch durch die einwandfreie Kosmetik der gelegten Füllung aus.

Um diese Aussagen zu verdeutlichen, wurden Füllungen aller Test- und Vergleichssubstanzen auf Zahnmodellen und zum Teil bei Patienten gelegt und röntgenologisch untersucht. Qualitativ unzulängliche Füllungen sollten als Beispiel dafür dienen, welch feine Mängel die radiopaken Materialien durch eine Röntgenkontrolle "ans Licht" bringen, insbesondere im

Approximalraum und unter der Füllung. Dies bestätigt, wie wichtig die Forderung nach röntgenologischer Darstellbarkeit von Kunststoffüllmaterialien ist. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems kann die Verwendung der hier untersuchten und als günstig erachteten Substanzen sein: Glas mit BaF_2- oder BaTi-Gehalt, das die üblichen Gläser als Verstärkungsfüllstoff in der Kunststoffmatrix ersetzen soll.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ALVARES, L.C. — Radiopacity of acrylic resins Oral Surg. 22, 318-320 (1966)

2. ATKINSON, H.F. — Partial denture problems: The lack of radiopacity in methylmethacrylate Aust.J.Dent. 58, 349-351 (1954)

3. BARKE, R. — Röntgenkontrastmittel G.Thieme, Leipzig 1970, S.20,46, 173 u. 208

4. BOWEN, R.L. und ARGENTAR H. — Diminishing discoloration in methacrylate accelerator systems J.Amer.dent.Ass. 75, 918-923 (1967)

5. BOWEN, R.L. und CLEEK, G.W. — X-ray-opaque reinforcing fillers for composite materials J.dent.Res. 48, 79-81 (1969)

6. BOWEN, R.L. und CLEEK, G.W. — A new series of X-ray-opaque reinforcing fillers for composite materials Bericht eines Vortrags, gehalten beim Meeting of international association for dental research im März 1971 (schriftl. Mitteilung von DDS R.L. Bowen)

7. BRABAND, H. — Kontrastmittel Kap. B. XII aus: Schinz, H.R., Baensch, W.E., Frommhold, W., Glauner, R., Uehlinger, E. und Wellauer, J.: Lehrbuch der Röntgendiagnostik Thieme, Stuttgart 1965, Bd.I, S.223-238

8. BURSEY, D.C. und WEBB, J.J. — Incorporation of radiopaque materials into denture plastics U.S. armed Forces med.J. 11, 561-566 (1960)

9. CHANDLER, H.H., BOWEN, R.L., PAFFENBARGER,G.D. u. MULLINEAUX,R.L. — Clinical investigation of a radiopaque composite restorative material J.Amer.dent.Ass. 8, 935-940 (1970)

10. DEGERING, C.I. und BUSEMAN, R.H. — A roentgenographic film density study of dental restorative materials Oral Surg. 15, 944-947 (1962)

11. FLECKEN, K. — Der Röntgenkontrast von Wurzelfüllungen Med.Diss., Bonn 1951

12. HARNDT, E. — Röntgenstrahlendurchlässigkeit von verschiedenen Füllungsmaterialien Sonderdruck aus "Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde" von Häupl - Meyer W. - Schuchard Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1955, Bd. II, S. 399 u. 417

13. HAUSCHILD, F. — Pharmakologie und Grundlagen der Toxikologie Thieme, Leipzig 1958, S. 316

14. KORT, W. — Quantitation of absorbed dose produced at high and low potentials Oral Surg. 27, 344-348 (1969)

15. MAYER, R. — Palakav - ein neues Kunststoff-Füllungsmaterial in klinischer Erprobung Dtsch. Zahnärztebl. 24, 496 (1970)

16. MEYER, W. — Röntgenologische Füllungskontrolle im Approximalraum "Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde" von Häupl - Meyer - Schuchard Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1955, Bd. II, S. 197-198

17. MÜLLER, K. — Zur klinischen Kontrolle eines neuen Kunststoff-Füllmaterials unter besonderer Berücksichtigung der Randverfärbung Med. Diss., München 1973

18. PHILLIPS, R.W. — Skinner's Science of dental materials Saunders Company, Philadelphia 1973, S. 234, 498 u. 523

19. VAN DER PLAATS,G.J. — Leitfaden der medizinischen Röntgentechnik Philips Technische Bibliothek, Eindhoven 1961, S. 47 u. 140-142

20. SALMANG, H. Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Glasfabrikation Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1957, S. 67-89 u. 285

21. SAUERWEIN, E. Zahnerhaltungskunde G. Thieme, Stuttgart 1970, S. 53-63 u. 79

22. SHAPIRO, R. An experimental study of Zr-compounds in contrast radiography Radiology 65, 429-432 (1955)

23. SCHRÖDER, A. Stand der Erfahrungen auf dem Gebiet der neuen Kunststoff-Kompositionsmaterialien auf Basis der Bowen-Formel Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 81, 999-1010 (1971)

24. SONNABEND, E. Das Röntgenbild in der zahnärztlichen Praxis Richard Pflaum, München 1958, S.31-32 u. 148

25. WANNENMACHER,E. Zahnärztliche Röntgenologie aus "Lehrbuch der klinischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde" von Hofer - Reichenbach - Spreter von Kreudenstein - Wannenmacher Barth, Leipzig 1959, Bd. I, S. 653-655

26. WANNENMACHER,E. Zahnerhaltungskunde aus "Lehrbuch der klinischen Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde" von Hofer - Reichenbach - Spreter von Kreudenstein - Wannenmacher Barth, Leipzig 1969, Bd. II, S. 544

27. WING, K., SÖREMARK, R. u. SAIRENIJ E. A roentgenographic method for rapid evaluation of X-ray machines Oral Surg. 25, 822-824 (1968)

28. WUEHRMAN, A.H. Roentgeno-oddities: The roentgenographic appearance of restorative materials Oral Surg. 13, 68-69 (1960)

29. WUEHRMAN,A.H. u. CURBY, W.A. Radiopacity of oral structures as a basis for selecting optimum kilovoltage for intraoral roentgenograms J.dent.Res. 31, 27-32 (1952)

30. WUEHRMAN, A.H. u.MONACELLI,L.J. Selection of optimum kilovoltage for dental radiography Radiology 57, 241-247 (1951)

Einen herzlichen Dank sage ich meiner Kollegin Walburg Schlegel, die mir mit Rat und Tat bei den densitometrischen Messungen zur Seite stand.

Für seine große Hilfsbereitschaft bei der Herstellung der Fotographien danke ich Herrn Fritz Erbsmeier.

Meinem Mann danke ich für das Zeichnen der Densitometer-Kurven sowie für seine "moralische Unterstützung" beim Entstehen dieser Arbeit.

LEBENSLAUF

Ursula B ö h n e r , geb. Schönhoff
geboren: 6. 11. 1947 in Göggingen bei Augsburg
Eltern: Adolf und Anneliese Schönhoff, geb. Wirnhier
Besuch der Volksschule in Augsburg von September 1954 bis Sommer 1958
Übertritt an das Neusprachliche Gymnasium der Englischen Fräulein Augsburg im September 1958
Abitur an der gleichen Schule im Sommer 1967

Immatrikulation an der Ludwig-Maximilians-Universität in München für das Studium der Zahnheilkunde im Oktober 1967
Naturwissenschaftliche Vorprüfung im Oktober 1968
Zahnärztliche Vorprüfung im April 1970
Zahnärztliche Prüfung im Dezember 1972

Arbeitsbeginn als Verwalter der Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten in der Abteilung Zahnerhaltung und Parodontologie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in München im März 1973
Verehelichung mit Dipl.Ing. Dieter Böhner im Mai 1971